



Tuhkalannoitettujen suonpohjien luontaisen taimettumisen onnistuminen

Isra Alatalo

Maisterintutkielma

Helsingin yliopisto

Metsätieteiden maisterinohjelma

Metsien ekologia ja käyttö

Toukokuu 2020

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion - Faculty		Laitos/Institution - Department
Maatalous- ja metsätieteellinen tiedekunta		Metsätieteiden osasto, metsätieteiden maisteriohjelma
Tekijä – Författare – Author		
Isra Alatalo		
Työn nimi – Arbetets titel – Title		
Tuhkalannoitettujen suonpohjien luontaisen taimettumisen onnistuminen		
Työn laji – Arbetets art – Level	Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä– Sidoantal – Number of pages
Maisterintutkielma	05/2020	54
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p>Turvetuotannosta on vapautunut ja vapautuu tulevana vuosina tuhansia hehtaareita suonpohjaa, jonka seuraava maankäyttömuoto on ratkaistava. Suonpohjia vapautuu turvetuotannosta kokonaisia työmaita sekä pienempiä osia vielä toimintaan jääviltä turvetuotantoalueilta. Yksi yleisimmistä seuraavista maankäyttömuodoista suonpohjilla on metsittäminen. Suomen metsäpinta-ala on pienentynyt 2000-luvulla, joten suonpohjien metsittäminen tarjoaa yhden harvoista mahdollisuuksista saada uutta metsäpinta-alaa Suomeen.</p> <p>Suonpohjat ovat karuja kasvupaikkoja kasveille. Suonpohjaturpeen ravinneköyhyys on yksi merkittävimmistä tekijöistä, joka estää kasvien levittäytymistä alueille. Tuhkalannoittaminen on yksi mahdollinen tapa korjata suonpohjaturpeen ravinnetilaa ja näin mahdollistaa metsittymisen käynnistyminen suonpohjilla. Vapo oy on 2010-luvulla lannoittanut suuret määrät suonpohjia tuhalla. Näillä alueilla uudistaminen on hoidettu luontaisesti taimettumalla. Tuhkalannoituksen vaikutuksia suonpohjilla on tutkittu aiemmin, mutta käytännön työssä lannoitettujen laajojen suonpohja-alueiden luontaisen taimettumisen onnistumista käsittelevälle tutkimukselle on silti tarvetta.</p> <p>Tutkimusta varten inventoitiin suonpohjia yli 260 hehtaaria ympäri eteläistä ja keskistä Suomea. Tutkimusta varten inventoituihin suonpohja-alueisiin kuului niin massansiirtoalueita kuin myös vanhaa turvetuotantokenttää. Yli 80 %:lla koealoista oli yli 2000 taimen hehtaarikohtainen tiheys. Vesitaloudeltaan vettyneiden tai veden vallassa olleiden alueiden havaittiin tutkimuksessa taimettuneen heikoiten. Vesitalous vaikuttaa olevan merkittävin tuhkalannoitettujen suonpohjien taimettumiseen vaikuttava tekijä. Suonpohjalle jääneen turpeen paksuudella oli vaikutusta taimimääriin. Paksummat turvekerrokset vaikuttivat taimettuvan ohuempia turvekerroksia paremmin männyllä ja koivulla. Turpeen paksuudella ja vesitaloudella näyttää olevan myös yhteys. Ohutturpeiset alat olivat märempiä kuin paksuturpeiset.</p> <p>Koivun taimimäärät suonpohjilla olivat suurella osaa koealoista merkittävästi mäntyä suurempia, ja koivu pystyi taimettumaan mäntyä paremmin myös kauempana reunametsästä. Tukituilla alueilla havaittiin myös pieniä kasvittomia alueita, jotka olivat jääneet lannoittamatta luultavasti lannoituksessa tulleen häiriön vuoksi. Näillä suonpohja-alueilla ei taimettumista ollut juurikaan tapahtunut.</p> <p>Näyttää siltä, että luontaisesti uudistamalla tuhkalannoitetuille suonpohjille saadaan kehityskelpoinen koivumäntytaimikko, jonka lajiosuudet painottuva vahvasti koivuun. Vesitalous oli tukituilla suonpohjilla yleensä selittävänä tekijänä, jos taimettumista oli tapahtunut vain vähän tai ei ollenkaan. Tuhkalannoitusta suunniteltaessa onkin oleellista olla selvillä mahdollisista vesitaloudeltaan hankalista alueista, jotta voidaan välttää hukkaan menneet metsitystoimenpiteet.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords		
Suonpohja, tuhkalannoitus, taimettuminen, seuraava maankäyttö, metsittäminen		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited		
Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi		
<p>Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information</p> <p>Ohjaajat:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Helsingin Yliopisto: Yliopistonlehtori Kari Minkkinen - Vapo Oy: Antti Ala-Fossi (Manager, Real Estates and Land Use) 		

Sisällys

1.	Johdanto	1
1.1.	Tausta	1
1.2.	Suonpohja kasvupaikkana	2
1.2.1.	Vesitalous	3
1.2.2.	Turve	4
1.2.3.	Pohjamaa	4
1.2.4.	Tuhkalannoitus	5
1.2.5.	Puulajit.....	6
1.3.	Tutkimuksen tarve ja tavoite	9
2.	Aineisto ja sen käsittely	11
2.1.	Tutkitut suonpohjat.....	11
2.2.	Taimikkoinventointien toteutus.....	15
2.3.	Kerätyn aineiston luokittelu	18
2.4.	Aineiston käsittely	19
3.	Tulokset.....	20
3.1.	Koealojen olosuhteet ja ominaisuudet.....	20
3.1.1.	Vesitalous koealoilla	20
3.1.2.	Turpeen paksuus koealoilla	22
3.1.3.	Koealojen etäisyys reunametsästä ja reunametsän puusto	25
3.2.	Koealojen taimimäärät	26
3.2.1.	Mänty.....	26
3.2.2.	Koivu	26
3.2.3.	Kuusi	27
3.2.4.	Muut puulajit	27
3.2.5.	Puulajien yhteenlaskettu taimimäärä.....	29
3.3.	Tekijöiden vaikutus taimettumisen onnistumiseen.....	30
4.	Tarkastelu	42
5.	Päätelmät	46
6.	Kiitokset	47
	Lähteet.....	48
	Liitteet	54

1. Johdanto

1.1. Tausta

Tilastokeskuksen (2016) mukaan Suomen metsämaan pinta-ala on vähentynyt 205 000 hehtaarilla vuosien 1990 ja 2013 välillä. Vuosina 2008-2018 maankäytön muutos metsästä toiseen maankäytön muotoon on ollut Kärkkäisen ym. (2019) mukaan noin 19 000 hehtaaria vuodessa. Tämä on seurausta erilaisista maankäytön muutoksista kuten yhdyskuntarakentamisesta, metsien muuttamisesta viljelyskäyttöön tai uusien turvetuotantoalueiden avaamisesta (Tilastokeskus 2016).

Uudeksi turvetuotantoalaksi on viimeisten kymmenen vuoden aikana raivattu metsää noin 1 800 hehtaaria vuosittain (Kärkkäinen ym. 2019). Tulevaisuudessa uutta turvetuotantoalaa avataan todennäköisesti vain murto-osa siitä määrästä, jota aiempina vuosina on avattu. Tämä johtuu energiaturpeen kysynnän tulevasta laskusta, jonka syynä on Vapo Oy:n toimitusjohtajan Vesa Tempakan mukaan päästöoikeuksien hinnan kasvu (Sijoittajatiedote, Vapo Oy 20.12.2019). Lisäksi pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelmassa on kirjattu tavoitteeksi vähentää energiaturpeen käyttö vähintään puoleen vuoteen 2030 mennessä (Pääministeri Marinin hallitusohjelma 2019). Vapo Oy onkin sijoittajatiedotteessaan 20.12.2019 ilmoittanut valmistautuvansa tulevaan muutokseen kysynnässä lopettamalla energiaturpeen tuotannon lähes sadalla turvetuotantoalueella Suomessa (Sijoittajatiedote, Vapo Oy 20.12.2019). Tämän turvetuotannossa tapahtuvan muutoksen seurauksena tulee pohdittavaksi näiden alueiden seuraava maankäyttömuoto.

Suonpohjien metsittäminen on yksi harvoista tavoista saada isoja määriä uutta metsäpinta-alaa (Maa- ja metsätalousministeriö 2008). Laasasenahon ym. (2017) mukaan metsittäminen oli maanomistajien osalta suosituin vaihtoehto seuraavaksi maankäyttömuodoksi suonpohjilla. Haakanan ym. (2015) ja Flyktmanin (2012) mukaan tulevaisuudessa turvetuotannosta poistuu kasvavissa määrin alaa. Vuodesta 2020 eteenpäin turvetuotannosta vapautuvan suonpohjan pinta-alan ennustetaan olevan noin 3 700 hehtaaria vuodessa (Haakana ym. 2015, Flyktman 2012). Aro ja Hytönen (2018) taas arvioivat suonpohjia olevan tällä hetkellä 45 000 hehtaaria ja saman verran

vapautuvan lähivuosina. Kärkkäinen ym. (2019) puolestaan arvioivat raportissaan, että mikäli energiaturpeen käytöstä luovutaan kokonaan, olisi 100 000 hehtaaria suurin mahdollinen määrä suonpohjaa, joka olisi mahdollista metsittää vuoteen 2050 mennessä.

Tämä tutkimus on toteutettu yhteistyössä Vapo Oy:n kanssa. Tutkimuskohteet olivat tutkimusta tehdessä Vapo Oy:n omistuksessa olevia turvetuotannosta poistuneita suonpohjia, joita Vapo Oy on metsittänyt paljon. Merkittävänä metsittämismenetelmänä Vapo Oy:llä on ollut suonpohjien tuhkalannoittaminen ja luontaisen uudistamisen kautta metsittäminen. Taimiaineksen syntyminen suonpohjille on edellytys onnistuneelle metsittämiselle, joten tutkielmassa tarkastellaan tuhkalannoitettujen suonpohjien eli turvetuotannosta poistuneiden alueiden luontaista taimettumista sekä tekijöitä, joilla mahdollisesti on vaikutuksia taimettumisen onnistumiseen.

1.2. Suonpohja kasvupaikkana

Turvetuotannon päätyttyä vanhalle turvetuotantoalueelle jäljelle jäävä suonpohja on monin tavoin karu ympäristö. Suonpohjat ovat myöskin ankaria paikkoja ajateltaessa kasvien levittäytymistä alueelle. Alueet ovat laajoja ja turvepinnat paljaita. Nämä edesauttavat tuulen aiheuttamaa eroosiota suonpohjilla. Alueella voi olla epävakaita vesiolot. Osa alueesta voi olla liian märkää, osa liian kuivaa ja joissain osissa suonpohjia vesiolot voivat vaihdella paljon vuodenaikojen mukaan. Näiden lisäksi sijainti on yleensä alavilla mailla, joten halla aiheuttaa kasveille ongelmia kesän alussa. Suonpohjan karuutta elinpaikkana korostaa lisäksi niiden routuminen (Groeneveld & Rochefort 2002, Campbell ym. 2002, Hytönen & Aro 2005, Huotari ym. 2008). Toisaalta suonpohjilla turpeen kuivalla ja tummalla pinnalla lämpötilat voivat kesäisin nousta hyvin korkeiksi (Vasander & Roderfeld 1998). Tämä karuus sekä turvetuotannon seurauksena paljastuneen tuhansia vuosia vanhan turpeen olematon luonnollinen siemenpankki aiheuttavat ongelmia kasvien luonnolliselle leviämiselle. Voi kestää todella kauan ennen kuin kasvit valtaavat koko suonpohjan, ellei niiden leviämistä auteta (Salonen ym. 1992, Salonen 1992, Groeneveld & Rochefort 2002, Huotari 2011, Silvan & Hytönen 2016).



Kuva 1. Suonpohjaa Hakonevalla Joulukuussa 2019.

1.2.1. Vesitalous

Seuraavaa maankäytön muotoa pohdittaessa on yhtenä tärkeimpänä asiana otettava huomioon kohteena olevan alueen topografia. Alueen topografia määrittää paljon suonpohjan vesitaloutta sekä kuivatusmahdollisuuksia. Liiallinen märkyys haittaa puuston kasvua ja voi jopa tukahduttaa puunjuurten hapensaannin ja tappaa puuston (Päivänen & Paavilainen 1998).

Suonpohjien pohjamaa viettää yleensä kohti tiettyä pistettä, johon alueen vesi pyrkii luonnostaan valumaan (Hytönen & Aro 2005). Maa- ja metsätalous suonpohjien seuraavina maankäytönmuotoina edellyttävät tehokasta kuivatusta. Tavallisilla metsätaloudeksiin kuivatetuilla turvemailla suositellaan pohjaveden pinnan laskemista 35-55 cm syvyyteen (Päivänen & Paavilainen 1998). Kuivatus olisi kyettävä järjestämään ojilla (Aro ym. 1997). Suonpohjilla alavimmat alueet, joihin vesi pyrkii kerääntymään, ovat alueita, joita on jo turvetuotannon aikana jouduttu pitämään kuivina pumpaamalla. Tällaisilla alueilla ei ole suositeltavaa suunnitella maa- tai metsätaloustoimintaa (Aro

1995). Nämä alueet voidaan osoittaa esimerkiksi ennallistamista tai lintukosteikoita varten (Selin 1998, Hytönen & Aro 2005, Issakainen & Huotari 2007).

1.2.2. Turve

Suonpohjalle jäänyt paljas turvepinta on kasveille hankala taimettumisalusta myös ravinneköyhyyden takia. Suonpohjaturpeessa on puutetta erityisesti kaliumista ja fosforista (Kaunisto 1979, Paavilainen & Päivänen 1995, Aro ym. 1997, Kikamägi ym. 2013), mutta orgaanista typpeä on hyvin maatuneessa ja tiiviissä suonpohjaturpeessa (Kaunisto 1979, Ferm & Kaunisto 1983, Aro ym. 1997, Hytönen & Aro 2005, Huotari ym. 2008).

Turvetuotannon jäljiltä suonpohjalle jäävän turvekerroksen paksuus voi vaihdella eri kohdissa aluetta merkittävästi (Aro 1995, Hytönen & Aro 2005). On yleistä, että turvekerroksen paksuusvaihtelu on metrin ja lähes olemattoman välillä. Nämä vaihtelut johtuvat pitkälti turpeen alla olevan pohjamaan pinnanmuodoista ja kivikkoisuudesta sekä turvetuotannon tuotantovaiheessa tehdyistä käytännön ratkaisuista (Hytönen & Aro 2005). Pintavesien ohjaamiseksi ojiin pyritään sarkojen keskiosat jättämään korkeammaksi kuin reunat. Myös varastoaukkojen alle jäävä turvekerros on keskimääräistä paksumpi (Kaunisto & Aro 1998, Hytönen & Aro 2005).

1.2.3. Pohjamaa

Suonpohjan alaisella kivennäismaalla eli pohjamaalla on moninaisia vaikutuksia suonpohjaan kasvupaikkana (Hytönen & Aro 2005). Kivennäismaan maalajilla on vaikutusta niin ravinne- kuin vesitalouteen. Suonpohjan maalajilla voi olla suuri merkitys alueen puuntuotospotentiaaliin (Ferm & Kaunisto 1983).

Myös pohjamaan kemialliset ominaisuudet voivat rajoittaa suonpohjan jatkokäyttöä (Picken 2007). Happamat sulfaattimaat ovat alueita, joilla ojitusta vaativa metsätalous ei ole varteenotettava seuraava maankäytönmuoto (Picken 2007). Itämeren ollessa Litorinameri-vaiheessa Suomen maaperään kehittyi happamia sulfaattimaita (Palko &

Weppling 1994). Nykyisinkin niitä on laajoilla pinta-aloilla. Happamia sulfaattimaita on arvioitu olevan Suomessa noin 340 000 hehtaaria, ja niistä suurin osa sijaitsee länsirannikolla (Palko & Weppling 1994). Sulfaattimaiden kemialliset ominaisuudet voivat aiheuttaa ongelmallisia seurauksia. Jos hapan maa-aines pääsee pohjavedenpinnan laskun takia kosketuksiin ilman kanssa, käynnistyy maassa hapettumisreaktio. Hapettuminen johtaa rikkihapon muodostumiseen maaperässä, minkä seurauksena maaperän pH-arvo laskee. Happamuuden nousu voi aiheuttaa eri metallien valumisen pohjavesiin ja vesistöihin (Palko 1994, Dent & Pons 1995, Åström & Björklund 1995, Auri 2015). Mikäli suonpohjaturpeen alla oleva kivennäismaa kuuluu happamiin sulfaattimaihin, on pidättäydyttävä kuivatusta vaativista seuraavista maankäyttömuodoista, kuten metsittämisestä tai maataloudesta, ja selvitettävä ennallistamisen tai muun vesittämisen vaihtoehdot (Picken 2007, Auri 2015).

Suonpohjalla turpeen alla olevan kivennäismaan ravinteikkuutta ovat selvittäneet Ferm ja Kaunisto (1983) sekä Aro ym. (1997). Tutkimustuloksissa havaittiin, että suonpohjien alaisessa kivennäismaassa fosforin ja kaliumin määrät ovat huomattavasti pienempiä kuin metsämaiden tai peltomaiden kivennäismaissa. Aro ym. (1997) huomasivat eron korostuvan omilla tutkimusaloillaan erityisesti karkeammilla maalajeilla. Ferm ja Kaunisto (1983) puolestaan tuovat ilmi omassa tutkimuksessaan suonpohjan kivennäismaan helppoliukoisien kaliumin ja fosforin määrien olevan vain 10 prosenttia peltomaiden kivennäismaihin verrattuna.

1.2.4. Tuhkalannoitus

Suonpohjat ovat alueita, joilla puunkasvattaminen vaatii lannoittamista (Aro ym. 1997, Hytönen & Aro 2012, Kikamägi ym. 2013). Suomen lisäksi Irlannista (Renou-Wilson & Farrel 2008) ja Kanadasta (Bussieres ym. 2008) on samanlaisia tutkimustuloksia. Tuhkalannoituksella saadaan palautettua kiertoön ravinteita, jotka ovat poistuneet ravinnekierrosta esimerkiksi puunkorjuun seurauksena. Samalla saadaan myös voimalaitoksista jätteeksi jäänyt tuhka hyötykäyttöön (Hytönen & Aro 2012, Kikamägi ym. 2014).

Suonpohjien lannoittamista on tutkittu niin tuhkalannoituksella kuin PK-lannoitteella. Tutkimusten perusteella puutuhkalla saadaan metsittämisessä muun muassa turvetuhkaa

paremmat tulokset (Hytönen 1998). Puutuhka soveltuu hyvin suonpohjien lannoittamiseen, koska se sisältää kaliumia ja fosforia, joista suonpohjaturpeessa on erityisesti pulaa. Typeä suonpohjaturpeessa on yleensä riittävästi puuston käyttöön (Ferm & Kaunisto 1983, Aro ym. 1997, Huotari ym. 2008, Hytönen & Aro 2012). Turvetuhkan ongelmana on siitä oleellisena ravinteena uupuva kalium (Ferm & Kaunisto 1983, Aro ym. 1997, Huotari ym. 2008, Hytönen & Aro 2012). Myös puuturvesekatuhkaa käytetään suonpohjien lannoittamiseen, ja sen käytöstä taimien syntymisen ja elossa pysymisen kannalta hyviä tuloksia (Huotari ym. 2008, Huotari 2011).

Lannoittamisella saadaan lisättyä paljaan suonpohjan taimettumista merkittävästi verrattuna lannoittamatta jättämiseen (Kaunisto 1981, Huotari ym. 2008). Huotari ym. (2008) tuloksissa hieskoivu taimettui todella vähän lannoittamattomilla alueilla, mutta lannoitetuilla alueilla taimettuminen oli todella hyvää. Myös Kauniston (1981) tutkimuksessa havaittiin, että lannoittamattomien alueiden taimimäärät olivat vain murto-osa lannoitetuista.

Huotari ym. (2008) tutkimuksessa PK-lannoitteella lannoitettujen alojen taimitiheydet jäivät pienemmiksi verrattuna aloihin, joita lannoitettiin eri tuhkalaaduilla tai PK-lannoitteen ja boorin yhdistelmällä. PK-lannoitteella kuitenkin myös saavutettiin hyvin korkeat taimitiheydet suonpohjilla (Huotari ym. 2008). Tuhkalannoitetuilla alueilla taimien lukumäärät hehtaaria kohden vaihtelivat yhden kasvukauden jälkeen 236 000 ja 267 000 välillä samaan aikaan, kun pelkällä PK-lannoitteella käsitellyillä alueilla keskimäärin oli 108 000 taimea hehtaarilla (Huotari ym. 2008).

1.2.5. Puulajit

Koivut (*Betula spp.*)

Suonpohjilla menestyvät molemmat metsätaloudessa käytetyt koivulajimme eli hieskoivu (*Betula pubescens*) ja rauduskoivu (*Betula pendula*). Koivut ovat pioneerilajeja, jotka leviävät aikaisessa vaiheessa sukkessiota uusille alueille (Hynynen ym. 2009). Näin on havaittu olevan myös suonpohjien kohdalla (Kaunisto 1981, Berube & Lavoie 2000, Renou-Wilson ym. 2010).

Jos halutaan kasvattaa ainespuuta ja erityisesti tukkipuuta, puulajiksi valitaan rauduskoivu. Mahdollisimman korkeaa biomassatuotosta tavoiteltaessa molemmat koivulajit ovat sopivia vaihtoehtoja (Kaunisto & Aro 1998, Hytönen & Aro 2005, Hytönen & Aro 2012). Fermin (1993) mukaan erityisen hyvin suonpohjille soveltuu hieskoivu, koska se sietää kasvualustansa kosteutta rauduskoivua paremmin.

Suonpohjalle koivutaimikon syntyminen voidaan saavuttaa eri tavoilla. Hieskoivu ja rauduskoivu ovat molemmat tuulipölytteisiä kasveja, jotka aloittavat siementen tekemisen 15-20 vuoden iässä (Perala & Alm 1990, Ferm 1993). Luontaisesti uudistettaessa on Kauniston ja Aron (1998) mukaan hyvä huomioida, että olemassa olevaa puustoa tulisi olla 150 metrin etäisyydellä uudistettavasta alueesta. Näin varmistetaan riittävä siementuotanto metsitettävälle alueelle (Kaunisto & Aro 1998). Kauniston (1981) mukaan siementävää puustoa ei kuitenkaan tarvita suuria määriä luontaisesti uudistettaessa. Suomen lisäksi koivujen on havaittu uudistuvan luontaisesti hyvin suonpohjilla Irlannissa (Renou-Wilson ym. 2010) ja Kanadassa (Berube & Lavoie 2000).

Uudistaminen voidaan toteuttaa myös istuttamalla tai kylvämällä (Hytönen & Aro 2005). Istuttaminen ja kylväminen ovat tutkitusti hyviä uudistamismenetelmiä koivulle myös Irlannissa (Renou-Wilson ym. 2010). Raudus- ja hieskoivu lisääntyvät suvuttomasti vesomalla, ja siksi toisen puusukupolven uudistaminen voidaan mahdollisesti saavuttaa tätä hyväksikäyttäen (Perala & Alm 1990, Ferm 1993, Hytönen & Aro 2012).



Kuva 2 Paljaalla turvepinnalla männyn sirkkataimien mahdollisuudet selvitä ovat pienet (Salonen ym. 1992). Kuvan männyn sirkkataimet olivat itäneet paljaalle turvepinnalle Kovalansuolla Mikkelissä. (Kuva: Isra Alatalo)

Mänty (*Pinus sylvestris*)

Mänty on koivun lisäksi varteenotettava vaihtoehto suonpohjia metsittäessä (Kaunisto & Aro 1998, Hytönen & Aro 2005). Suomen lisäksi myös Irlannissa on saatu hyviä tuloksia suonpohjien metsittämisestä männyllä. Mänty on Irlannissa yksi puulajeista, joilla suositellaan metsittämään suonpohjia (Renou-Wilson & Farrel 2008). Suonpohjilla männyllä kuitenkin on taipumus puutavaran laatua heikentävään kasvuun, kuten oksikkuuteen. Tämä johtuu turpeen korkeasta typen määrästä. Jos pyritään laadukkaaseen puustoon, on männyn kasvatustiheyden oltava normaalia korkeampi (Kaunisto & Tukeva 1986, Kaunisto & Aro 1998). Hytönen ja Aro (2005) suosittelevat vähintään 5000 kylvökohtaa hehtaarilla, kun halutaan laadukasta mäntyä.

Mäntytaimikko voidaan perustaa suonpohjalle eri uudistusmenetelmillä. Issakaisen ja Huotarín (2007) mukaan taimikon saamiseksi voidaan käyttää luontaista uudistamista, istuttamista tai kylvöä.

Ensimmäisenä kasvuvuonna paljaalle suonpohjalle syntyvillä männyn taimilla on erittäin korkea kuolleisuus (Salonen ym. 1992). Taimien hengissä selviämisen kannalta oleellista

onkin, että alue on joko lannoitettu tai mätästetty siten, että kivennäismaa ja turve ovat sekoittuneet (Kaunisto 1987, Aro 1995, Aro ym. 1997, Hytönen & Aro 2005).

Kuusi (*Picea abies*)

Kuusi ei Suomessa sovi suonpohjien puulajiksi ainakaan ensimmäisen sukupolven puulajina. Tämä johtuu suonpohjia usein keväästä ja alkukesästä vaivaavasta hallasta. Kuusi on hallanarka laji, eikä tästä syystä ole pärjännyt suonpohjilla (Aro 1998, Hytönen & Aro 2005). Ravinteiden ja vesitalouden puolesta kuusi sopisi luultavasti hyvin suonpohjille. Toisen sukupolven puulajina kuusi voisi olla toimiva laji, jos taimet pääsevät kasvamaan aluksi verhopuuston alla (Mikola 1975, Kaunisto & Aro 1998, Hytönen & Aro 2005). Virossa saatujen tulosten mukaan (Kikamägi ym. 2014) kuusi kasvoi mäntyjä paremmin tuhkalannoitetulla suonpohjalla. Irlannissa on kuusen ja sitkankuusen kasvusta suonpohjilla saatu hyviä tuloksia, kun ravinnetalous on saatu kuntoon lannoituksella (Renou-Wilson & Farrel 2007). Renou-Wilson ja Farrel (2008) suosittelevat näistä kahdesta erityisesti kuusta suonpohjien metsitykseen. Viron ja Irlannin tulosten perusteella voitaisiin olettaa kuusen kasvumahdollisuuksien olevan hyvät myös Suomessa.

1.3. Tutkimuksen tarve ja tavoite

Tutkimukselle oli tarvetta, koska Vapo Oy halusi selvittää metsittämistoimien kohteena olleiden suonpohjien tilan. Vapo Oy on tuhkalannoittanut laajasti puuturvesekatuhkalla suonpohjia vuodesta 2013 eteenpäin. Merkittävä uudistamistapa näillä suonpohjilla on ollut luontainen uudistaminen. Tarkoituksena oli tutkia, miten näillä suonpohjilla taimettuminen on onnistunut, ja millä tekijöillä on vaikutusta taimettumistulokseen.

Käytettyjen menetelmien toimivuuden selvittäminen on oleellista, koska lähitulevaisuudessa huomattava määrä suonpohjia siirtyy seuraaviin maankäytönmuotoihin. Vapo Oy on esimerkiksi sijoittajatiedotteessaan 20.12.2019 ilmoittanut lopettaneensa energiaturpeen tuotannon lähes sadalla turvetuotantoalueella. Aron ja Hytösen (2018) mukaan lähivuosina voi suonpohjia tulla seuraavan maankäytön

piiriin noin 45 000 hehtaaria. Kärkkäinen ym. (2019) arvioivat vuoteen 2050 mennessä mahdollisen metsitettäväksi tulevan alan olevan suurimmillaan 100 000 hehtaaria.

Tutkimuksessa asetettiin tavoitteeksi selvittää, onko voimalaitostuhkalla lannoittamalla ja taimien luontaisella syntymisellä saatu metsittymisen mahdollistava taimikko aikaan. Pyrittiin selvittämään, miten suonpohjat ovat taimettuneet ja miten eri tekijät vaikuttavat taimettumistulokseen.

Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymyksiksi asetettiin seuraavat kysymykset:

1. Miten hyvin luontainen taimettuminen on onnistunut tuhkalannoitetuilla suonpohjilla? Onnistumista selvitetään tarkentavilla kysymyksillä:

- Mitkä ovat puulajeittaiset taimitiheydet?
- Mikä on koivun ja männyn taimien yhteenlaskettu tiheys?

Kuusentaimia ei niputettu yhteenlaskettuun taimitiheyteen, koska aiemmat tutkimukset jo ovat viitanneet siihen, että se ei menesty hallan arkuuden vuoksi suonpohjilla (Aro 1998, Hytönen & Aro 2008).

2. Miten etäisyys reunametsästä ja reunametsän puulaji vaikuttaa taimettumiseen?

3. Miten suonpohjan vesitalous vaikuttaa taimettumiseen?

- Miten suonpohjan vedenpinnantaso vaikuttaa taimettumiseen eri puulajeilla?

4. Miten suonpohjan turpeen paksuus vaikuttaa taimettumiseen eri puulajeilla?

2. Aineisto ja sen käsittely

2.1. Tutkitut suonpohjat

Tutkimusta varten inventoitiin suonpohjien taimikoita useilla eri puolella Suomea sijaitsevilla turvetuotantoalueilla. Kuva 4 ja taulukko 1 näyttävät tutkittujen suonpohjien maantieteelliset sijainnit sekä muita tietoja alueista.

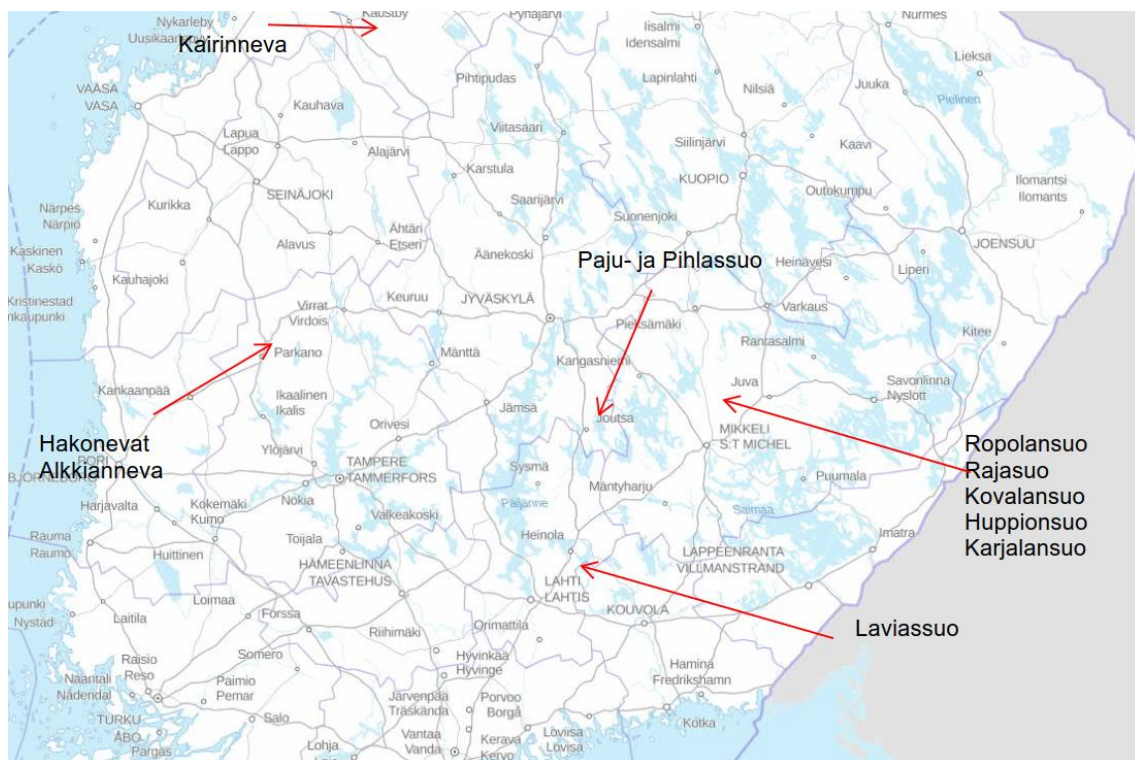
Kaikki tutkimuksessa mukana olleet turvetuotantoalueet olivat tutkimuksen taimikkoinventointien aikaan vielä osittain aktiivisia työmaita. Tämä kuvaa hyvin, kuinka turvetuotantoalueelta poistuu vähitellen aluetta tuotannosta. Tutkimuksessa on mukana laajoja yhtenäisiä useiden kymmenien hehtaarien suonpohjia, mutta myös alle puolen hehtaarin massansiirtoalueita, joiden ympärillä on vielä aktiivista turvetuotantoa.



Kuva 3 Kuvasta näkyy tuhkalannoitettuja massansiirtoalueita Karjalansuolla Juvalla. Niiden ympärillä on kuvan ottamisen hetkellä vielä ollut aktiivista turvetuotantoa. (kuva: Maanmittauslaitos)

Vapolta saatujen tietojen perusteella tutkittavat alueet on tuhkalannoitettu vuosien 2013-2016 välisenä aikana. Tuhkaa niille on levitetty viidestä kahdeksaan tonnia hehtaarille. Lannoituksessa käytetty tuhka on käsittelemätöntä puuturvesekatuhkaa eli voimalaitostuhkaa. Tuhkanlevitys suonpohjille on pääasiassa toteutettu talvella traktorileivityksenä hangen päälle.

Tutkimuksen kohteena olleille suonpohjille ei tuhkalannoituksen lisäksi ole tehty muita taimikonsyntyyntä tähtäviä toimenpiteitä. Suonpohjille ei ole istutettu taimia tai kylvetty siemeniä. Suonpohjia ei myöskään ole muokattu taimettumisen edistämiseksi esimerkiksi sekoittamalla kivennäismaata ja turvetta keskenään. Tutkituille suonpohjille syntyneet taimet ovat syntyneet luontaisesti. Osa suonpohjista on turvetuotannon päättymisen jälkeen vielä eristetty toiminnassa olevasta tuotantoalueesta siten, että näiden vedet eivät kulje turvetuotannon vesienkäsittelyyn. Lisäksi joillekin suonpohjille on kaivettu turvetuotannon aikaisten ojastojen lisäksi lisäojia vesitalouden parantamiseksi.



Kuva 4. Tutkimuksessa olleiden kohteiden sijainnit Suomessa (Kuva: Maanmittauslaitos, muokannut Isra Alatalo).

Taulukko 1. Tutkimuksessa inventoidut alueet sekä niiden kuvioiden ja tehtyjen koealojen määrät.

Koordinaatit	Työmaa	Maakunta	Inventoitavat alueet (ha)	Kuvioiden määrä	Koealojen määrä
61°55'15.1"N 27°27'41.0"E	Huppionsuo	Etelä-Savo	8,9	12	39
61°55'28.3"N 27°35'03.4"E	Karjalansuo	Etelä-Savo	18,5	29	74
61°50'54.6"N 27°19'07.1"E	Kovalansuo	Etelä-Savo	28,7	4	67
62°03'39.5"N 27°19'54.8"E	Rajasuo	Etelä-Savo	47,9	21	138
62°00'49.5"N 27°17'51.5"E	Ropolansuo	Etelä-Savo	18,6	3	44
61°06'29.4"N 25°58'33.7"E	Laviassuo	Päijät-Häme	10,1	2	24
61°54'45.8"N 26°15'02.4"E	Paju- ja Pihlassuo	Keski-Suomi	15,8	3	34
63°32'30.2"N 24°09'58.1"E	Kairinneva	Keski-Pohjanmaa	85,5	6	124
62°13'12.1"N 22°46'28.3"E	Alkkianneva	Satakunta	21,4	3	50
62°05'34.5"N 23°10'11.1"E	Hakonevat	Pirkanmaa	7,3	4	29
	Yhteensä		262,7	87	623

Tutkitut suonpohjat jaettiin kahteen luokkaan: 1) vanhat tuotantokenttäalueet ja 2) massansiirtoalueet. Massansiirtoalueet ja tuotantokenttäalueet sijaitsivat suonpohjalla vierekkäin. Inventoiduilla alueilla massansiirtoalueet olivat usein, kuten kuvasta 5 näkyy, vielä aktiivisessa tuotannossa olevien tuotantosarkojen ympäröimiä. Massansiirtoalueita inventoitavasta pinta-alasta oli 17 % ja vanhan tuotantokentän osuus oli 83 % (Taulukko 2). Kokonaisuudessaan tutkimuksessa inventoitu pinta-ala oli 262,7 hehtaaria.



Kuva 5. Lannoitettu massansiirtoalue tuotannossa olevien sarkojen välissä. (Kuva: Isra Alatalo)

Tutkituilla suonpohjilla vanhan tuotantokenttäalan ja massansiirtoalan osuudet vaihtelivat paljon. Esimerkiksi Kairinnevalla ei tutkittuun alaan sisältynyt ollenkaan massansiirtoalaa. Huppionsuo taas oli toisesta ääripäästä, koska siellä ei vanhaa tuotantokenttäalaa tutkittu lainkaan vaan tutkittu alue keskittyi vain massansiirtoalueille. Taulukosta 2. nähdään kaikkien soiden osalta jakautuminen massansiirtoalueiden ja vanhan tuotantokenttäalan välillä.

Taulukko 2 Soittain inventoidun pinta-alan määrä.

Turvetuotantoalue	Massansiirtoalan %-osuus	Vanhan tuotantokenttään %-osuus
Kairinneva	0%	100%
Paju- ja Pihlassuo	9%	81%
Rajasuo	45%	55%
Laviassuo	0%	100%
Hakonevat	3,5%	96,5%
Alkkianneva	0%	100%
Ropolansuo	0,5%	99,5%
Kovalansuo	10%	90%
Huppionsuo	100%	0%
Karjalansuo	86%	14%
Kaikki	17%	83%

2.2. Taimikkoinventointien toteutus

Tutkimuksen taimikkoinventoinnit on toteutettu vuoden 2018 syksyllä lokakuusta joulukuuhun. Tavoitteena oli saada inventoinnit tehtyä ennen lumien tuloa ja maaperän routaantumista, mikä ei täysin onnistunut. Osa mittauksista jouduttiin tekemään vasta, kun maa oli roudassa. Tämä esti turpeen paksuuden mittaamisen. Joillakin mittauskerroilla maassa ollut ohut lumikerros ei estänyt pienimpienkään taimien havaitsemista.

Koealoina käytettiin ympyräkoealoja, joiden säde oli 3,99 metriä. Ympyräkoealoja sijoitettiin kuvioille 1-4 kappaletta hehtaarille. Kuvion ollessa alle 2 hehtaaria sijoitettiin

sinne koealoja 4/ha. Kuvion ollessa 2-5 hehtaaria sijoitettiin sinne 3 koealaa hehtaarille. Yli 5 hehtaarin kuvioille sijoitettiin 2 koealaa ja yli 10 hehtaarin kuvioille 1-2 koealaa.



Kuva 6. Vääräväri-ilmakuva Rajasuolta, johon on merkitty koealojen sijainnit punaisilla pisteillä.

Tuhkalannoitetuista suonpohjakuvioista haluttiin saada koealoilla kattava otos. Koealojen sijoittelussa käytettiin ositetun otannan periaatetta. Koealat jaettiin tasaisesti ympäri tuhkalannoitettua kuviota, ja samalla vääräväri-ilmakuvien avulla pyrittiin huomioimaan kuvioiden heterogeeninen olemus. Näin saatiin koealat jaettua ympäri kuviota ja samalla otettua huomioon erilaiset alueen olemukset, jotka systemaattisella otannalla olisivat voineet jäädä huomioimatta.



Kuva 7. Mittaukset käynnissä Karjalansuolla lokakuussa 2018. (Kuva: Isra Alatalo)

Jokaiselta yksittäiseltä koealalta mitattiin taimien lukumäärät puulajeittain (koivu, mänty, kuusi ja muut). Lisäksi arvioitiin koealan vesitalous kolmeen luokkaan: 1. kuiva, 2. vettynyt ja 3. veden vallassa, sekä mitattiin turpeen paksuus. Etäisyys reunametsään mitattiin koealan keskipisteestä. Jokaiselta koealalta otetut tiedot kirjattiin lomakkeelle (liite 1.), joilta tiedot siirrettiin tietokoneelle analysointia varten.

Välineistönä koealojen mittauksissa käytettiin 3,99 metrin onkivapaa. Turpeen paksuus mitattiin 102 cm pitkällä rassilla. Etäisyyden määrittämisessä lähimpään reunametsään käytettiin ForestkitGo-mobiilisovellusta, vääräväri-ilmakuvaa sekä karttaa. Arvioin tällä menetelmällä pääseväni vähintään viiden metrin tarkkuuteen määrittäessäni etäisyyttä reunametsään.

2.3. Kerätyn aineiston luokittelu

Keskisessä ja eteläisessä Suomessa uudistamisvelvoitteen täyttävä taimien tiheys on 1 100 lehtipuun taimea hehtaarilla tai 1 500 havupuun taimea hehtaarilla (Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä käytöstä 1308/2013). Lisäksi lain mukaan taimikon keskipituuden on oltava 0,5 metriä, jotta se täyttää uudistamisvelvoitteen (Laki metsälain muuttamisesta 1085/2013).

Tässä tutkimuksessa tavoitetaimitiheys asetettiin 2 000 koivun- ja männyntaimen yhteenlaskettuun kappalemäärään hehtaarilla. Koealoilta laskettavien taimien koolle ei asetettu minimirajaa, joten joukossa on myös reilusti alle 0,5 metrin pituisia taimia. Jotta uudistamisvelvoitteen (Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä käytöstä 1308/2013) asettama taimitiheys ylittyisi, vaikka osa taimista kuolisi, asetettiin tavoiteltu taimitiheys 2000 taimeen hehtaarilla.

Koealoilta laskettiin taimien lukumäärät puulajeittain. Ylös kirjattiin, oliko taimi mänty, kuusi, koivu vai muu puulaji. Koivuista ei eroteltu hies- ja rauduskoivua. Muut puulajit käsittivät kaikki muut puulajit kuin edellä mainitut.

Vesitalous jaettiin kolmeen erilliseen luokkaan: kuivaan, vettyneeseen ja veden vallassa olevaan. Luokittelu toteutettiin maastossa aistinvaraisesti. Veden vallassa oleva tarkoittaa, että koeala on suurelta osin veden pinnan alla. Vettyneellä koealalla lammikot olivat pieniä tai niitä ei ollut ollenkaan, mutta turvekerros oli imenyt itseensä paljon vettä tai lähes kyllästynyt kokonaan vedellä. Turpeesta sai puristettua runsaasti vettä. Kuiva vesitalous tarkoittaa koealan olleen suurimmalta osin kuiva.

Turpeen paksuus mitattiin senttimetrin tarkkuudella kolmesta kohtaa koealalta eli keskeltä sekä vastakkaisilta reunoilta. Mittauksessa suurin mahdollinen turpeen syvyys oli 102 senttimetriä, joka oli mittavälineenä käytetyn rassin pituus.

2.4. Aineiston käsittely

Koealoilta kerätty tieto siirrettiin maastolomakkeilta tietokoneelle analysointia varten. Analysoinnissa käytettiin Microsoftin Excel-ohjelmaa sekä IBM SPSS Statistics 25-ohjelmaa.

Aluksi Microsoftin Excel-ohjelmalla laskettiin tietokoneelle siirretyistä koealojen tiedoista puuston hehtaarikohtaiset taimimäärät puulajeittain. Excelillä myös laskettiin, miten tavoiteltu taimitiheys saavutettiin ja piirrettiin kuvaajat.

Regressioanalyysillä selvitettiin, miten etäisyys reunametsään ja turpeen paksuus vaikuttavat hehtaarikohtaisiin taimimääriin. Varianssianalyysillä analysoitiin, miten vesitalous ja turpeen paksuus vaikuttavat hehtaarikohtaisiin taimimääriin sekä se, miten vesitalous vaikuttaa suonpohjalla olevan turvekerroksen paksuuteen.

Regressioanalyysissä selittävät tekijät eli etäisyys reunametsään (m) sekä turpeen paksuus (cm) olivat jatkuvia muuttujia. Turpeen paksuuden kohdalla regressioanalyysissä jätettiin huomioimatta 102 cm turvepaksuudet, koska tämä mitta pitää sisällään myös kaikki yli 102 cm paksut turvekerrokset ja näin vääristäisi tuloksia.

Varianssianalyysissä selittävät tekijät olivat luokkamuuttujia. Vesitalous oli kolmessa luokassa: 1. kuiva, 2. vettynyt ja 3. veden vallassa. Turpeen paksuus luokiteltiin myös kolmeen luokkaan: 1. >100 cm, 2. 50-100 cm ja 3. 0-49 cm. Varianssianalyysissä oli mukana myös regressioanalyysistä pois jätetty turvepaksuus 102 cm. Tukeyn testillä vertailtiin varianssianalyysien yhteydessä luokkien välisiä eroja.

Taulukko 3 Analyysit tehtiin männylle, koivulle ja muille puulajeille erikseen.

Analyysi	Selitettävä muuttuja	Selittävä muuttuja	Monelta koealalta mittaustulokset käytössä? (N=kpl)
Regressioanalyysi	Taimea hehtaarilla	Etäisyys reunametsästä (jatkuva muuttuja)	623
Regressioanalyysi	Taimea hehtaarilla	Turpeen paksuus (jatkuva muuttuja)	339
Varianssianalyysi	Taimea hehtaarilla	Vesitalous (luokkamuuttuja)	623
Varianssianalyysi	Taimea hehtaarilla	turpeen paksuus (luokkamuuttuja)	382
Varianssianalyysi	Turpeen paksuus	Vesitalous (luokkamuuttuja)	382



Kuva 8 Tuhkalannoitettua suonpohjaa Kairinnevalta marraskuulta 2018. (Kuva: Ari Laukkanen, Vapo Oy)

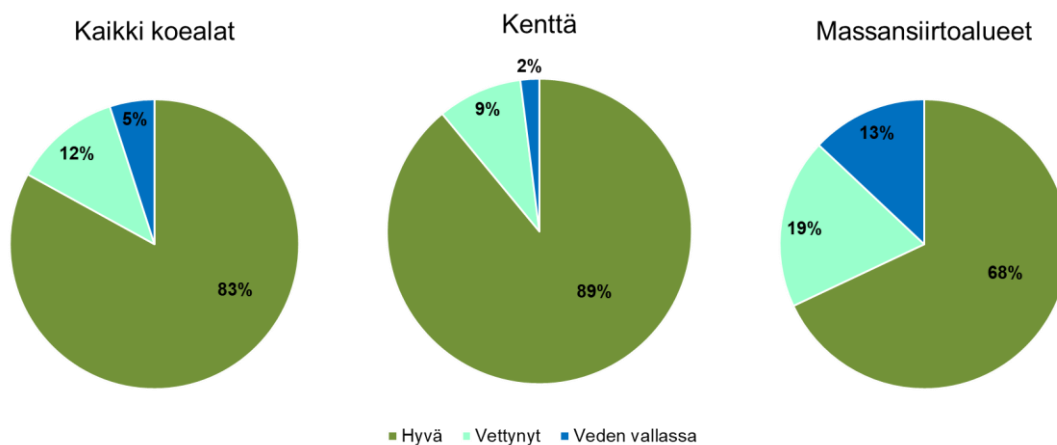
3. Tulokset

3.1. Koealojen olosuhteet ja ominaisuudet

3.1.1. Vesitalous koealoilla

Tutkimuksessa inventoiduista kaikista koealoista suurin osa, 516 koealaa, oli vesitaloudeltaan mittausten aikaan kuivia. Kuivien koealojen osuus oli 83 %. Vettyneitä koealoja oli 74 kappaletta, joka oli 12 % kaikista mitatuista koealoista. Vain pieni osa eli 5 % koealoista (33 kpl) oli veden vallassa.

Vanhoilla tuotantokenttäalueilla sijaitsevista koealoista 89 % eli 396 koealaa oli kuivia (kuva 9). Vettyneitä koealoja oli 40 eli 9 %. Veden vallassa olleita koealoja vanhoilla tuotantokenttäalueilla oli 10 kappaletta. Tämä oli vain 2 % näiden alueiden koealoista.



Kuva 9 Kuvaajista nähdään, miten koealojen havainnoidut vesitaloustilanteet jakautuivat.

Tuhkalannoitetuilla massansiirtoalueet olivat märempiä verrattuna vanhoihin tuotantokenttäalueisiin (Kuva 9). Vesitaloudeltaan kuivia koealoja oli 68 % eli 120 kappaletta. Vettyneitä koealoja oli tutkituista koealoista 19 % (34 kpl) ja veden vallassa 13 % (23 kpl).

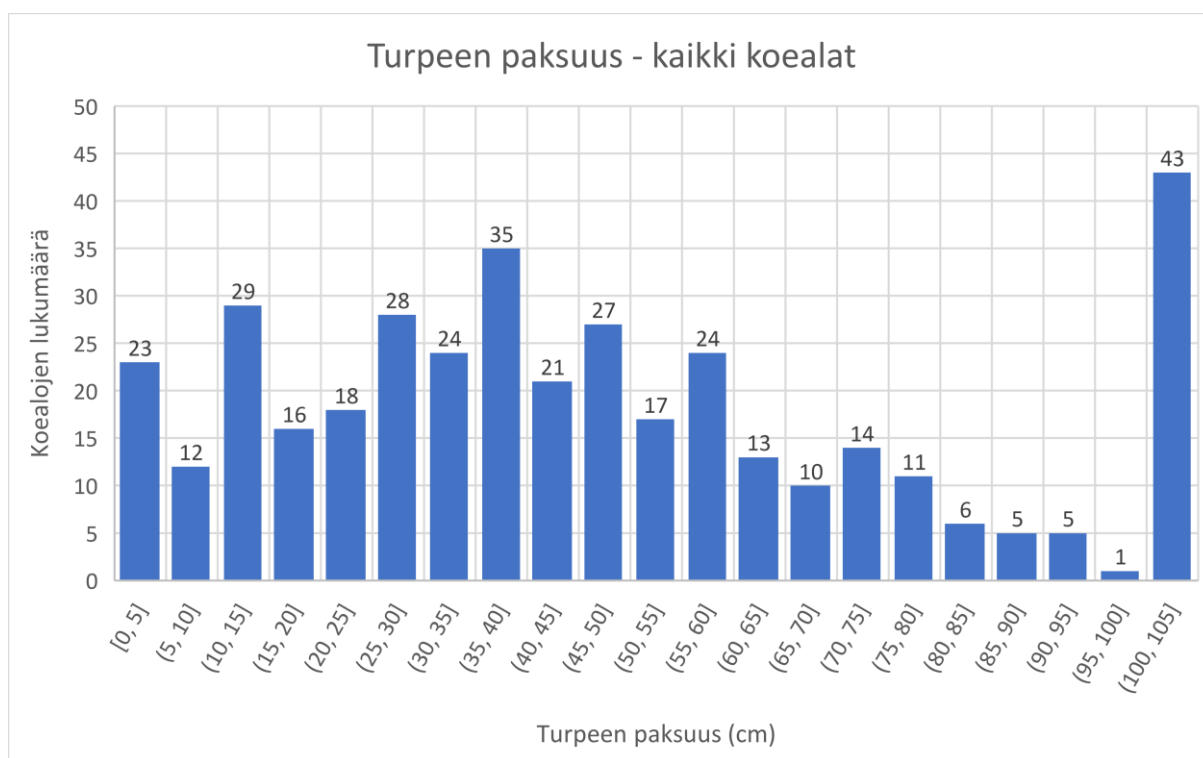


Kuva 10 Vasemman puoleisessa kuvassa laajasti veden vallassa oleva alue taimettuneiden ja kuivana olevien sarkojen keskiosien välissä. Oikean puoleisessa kuvassa vesitaloudeltaan kuiva alue. Molemmat kuvat on otettu Mikkelistä Rajasuolta marraskuussa 2018. (Kuva: Isra Alatalo)

3.1.2. Turpeen paksuus koealoilla

Turpeen paksuudesta ei kaikilta koealoilta ole suoraan toisiinsa verrattavia tuloksia. 382 koealaa on mitattu keskenään samalla tavalla kolmesta eri kohtaa koealaa. Suonpohja-alueet, joilta on turpeen paksuuteen käytettävissä olevat mittaukset; Kairinneva, Paju- ja Pihlassuo, Rajasuo, Laviassuo, Ropolansuo ja osa Kovalansuosta.

Mittaustuloksissa arvo 102 cm tarkoittaa turpeen paksuuden olleen 102 cm tai enemmän. Koealoja, joilla kaikki kolme turpeen paksuuden mittausta olivat 102 cm, oli 43 kappaletta. Kolmella koealalla kaksi kolmesta mittauksesta oli 102 cm ja kahdella koealalla yksi kolmesta mittauksesta oli 102 cm. Kuva 11 näyttää koealojen keskimääräiset turvepaksuudet ja kuvasta 13 nähdään samat tiedot jaoteltuna suonpohjittain.



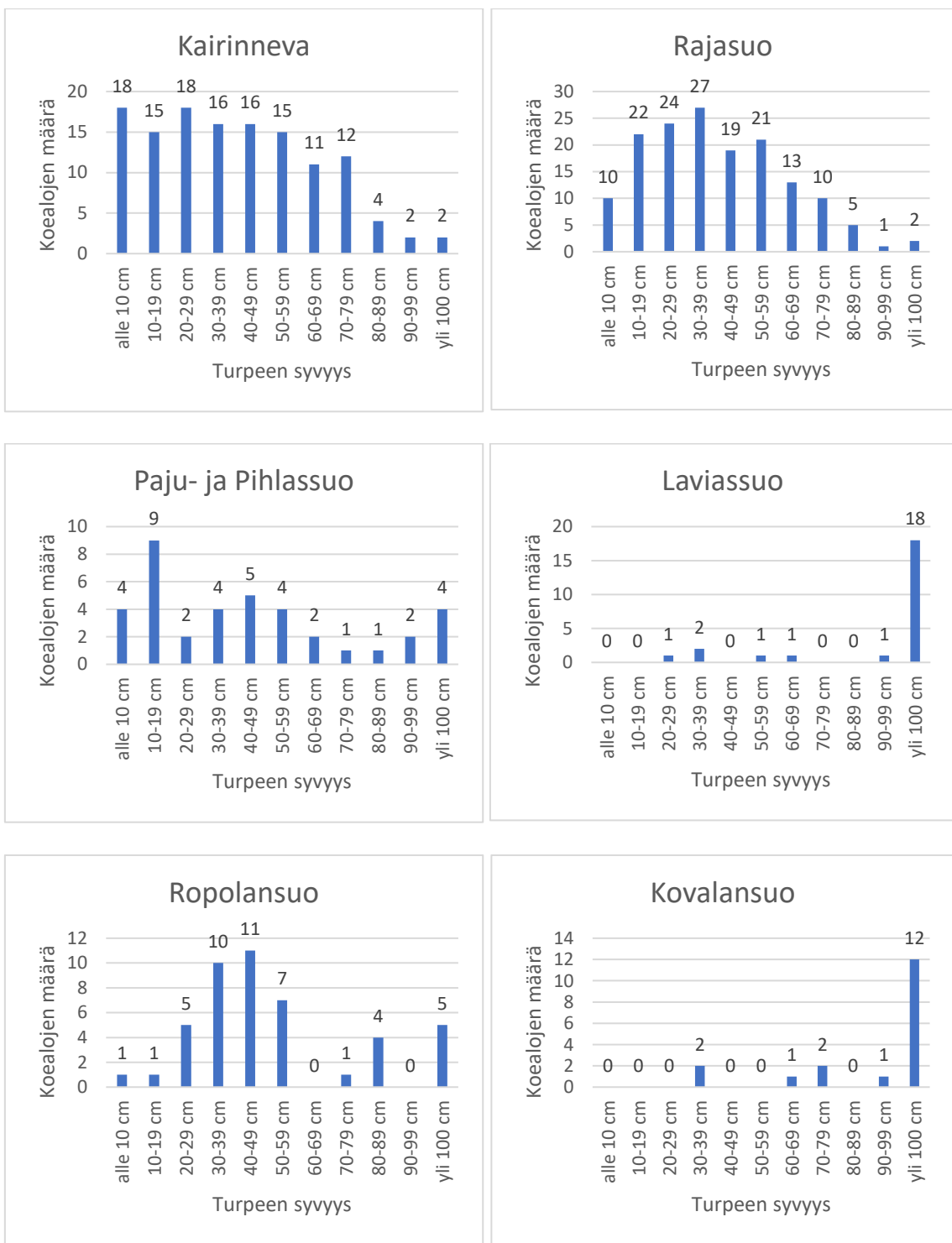
Kuva 11 Koealojen keskimääräiset turpeen paksuudet.



Kuva 12 Alkkiannevilla roudan takia ei turpeen paksuutta voitu mitata. Kuva vuoden 2018 joulukuulta.

Karjalansuon, Huppionsuon ja osan Kovalansuon turpeen paksuuden mittaustuloksia (162 kpl) ei käytetty tutkimuksessa. Näiltä turpeen paksuus mitattiin vain yhdestä kohtaa ja mittaustulos merkattiin luokkiin. Tämä mittaustapa vaihdettiin toiseen mittaustapaan muille alueille, jotta mittaustulokset olisivat paremmin hyödynnettävissä. Vaihdetun mittaustavan takia 162 koealan mittaustulokset eivät olleet vertailukelpoisia.

Alkkiannevan ja Hakonevojen kohdalla turpeen paksuutta ei pystytty mittaamaan, koska turvekerros oli roudassa. Tämän takia 79 koealalta ei ole käytettävissä turpeen paksuuden mittaustuloksia. Yhteensä 241 koealalta ei ollut mitattua turpeen paksuutta (79 kpl) tai se ei ollut vertailukelpoista (162 kpl)



Kuva 13 Turvetuotantoaloittain koealojen turpeen paksuudet (koealakohittaiset keskiarvot).

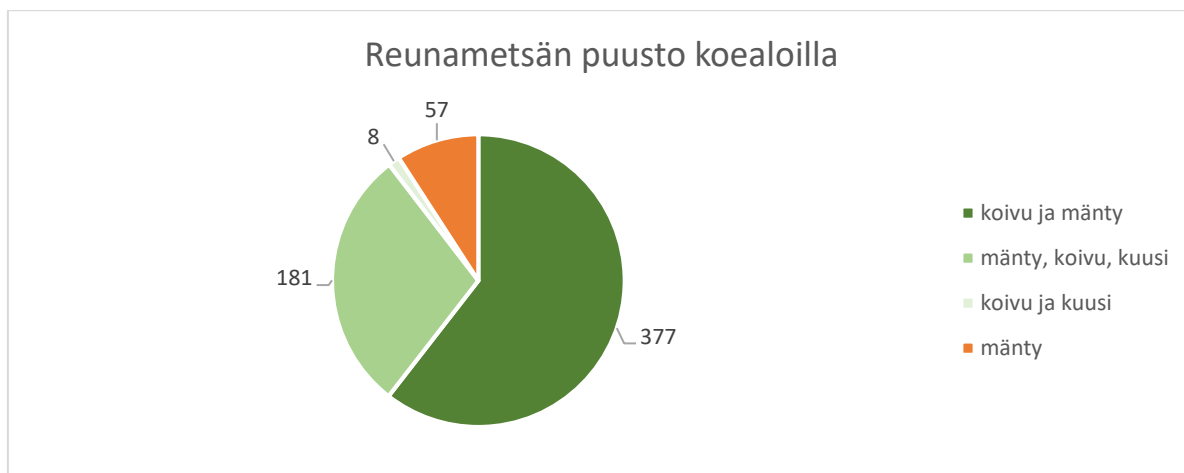
3.1.3. Koealojen etäisyys reunametsästä ja reunametsän puusto

Koealojen etäisyys reunametsään vaihteli viidestä metristä neljäänsataan metriin (kuva 14). Tutkimuksessa mitattujen koealojen etäisyys reunametsästä oli yli puolella tapauksista (56% ja 349 kappaletta) alle 100 metriä. Alle 150 metrin etäisyydeltä reunametsästä mitattujen koealojen lukumäärä (453 kpl) kattoi 73 % kaikista mitatuista koealoista. Koealoista 27 % eli 171 kappaletta sijaitsi 100-200 metrin etäisyydellä reunametsästä. Yli 200 metrin etäisyydellä olleita koealoja oli 103 kappaletta, joista 18 oli yli 300 metrin etäisyydellä reunametsästä.



Kuva 14 Koealojen jakaantuminen reunametsän etäisyyden suhteen.

Suonpohjien reunametsät olivat puustoltaan vaihtelevia. Suurin osa puustoista oli koivun ja männyn sekametsää (60 %) tai koivun, männyn ja kuusen sekametsää (29 %). Pelkkää mäntymetsää oli (9 %) ja vain 1 % kuusen ja koivun sekametsää (Kuva 15).

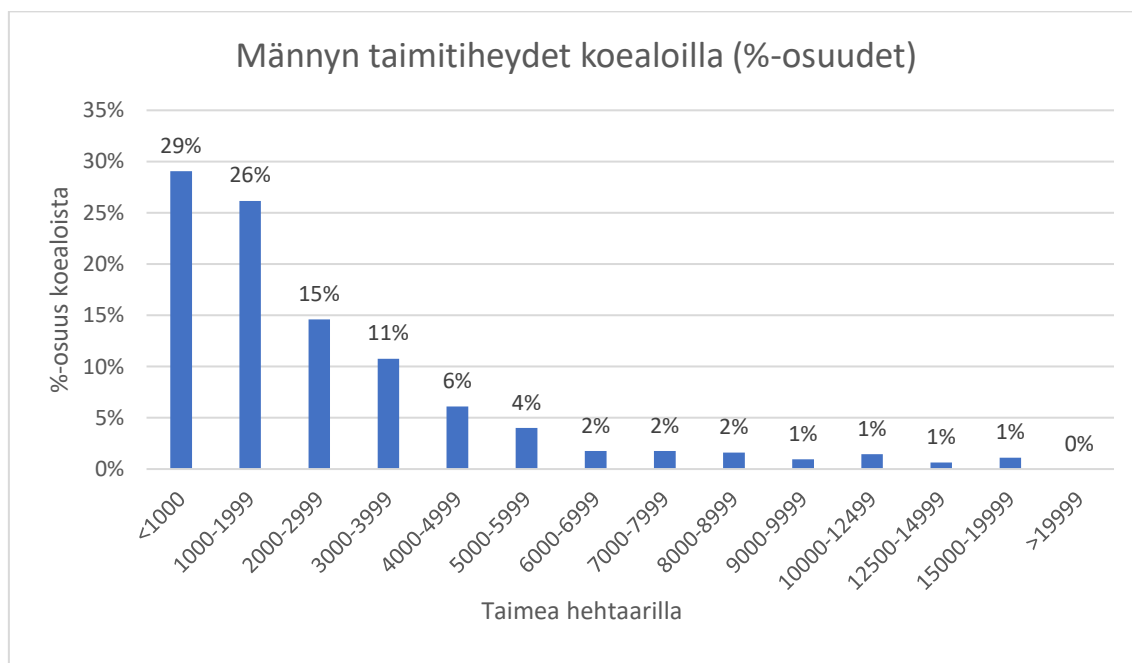


Kuva 15 Suonpohjia reunusti tutkimuksessa lajistoltaan erilaiset reunametsät.

3.2. Koealojen taimimäärät

3.2.1. Mänty

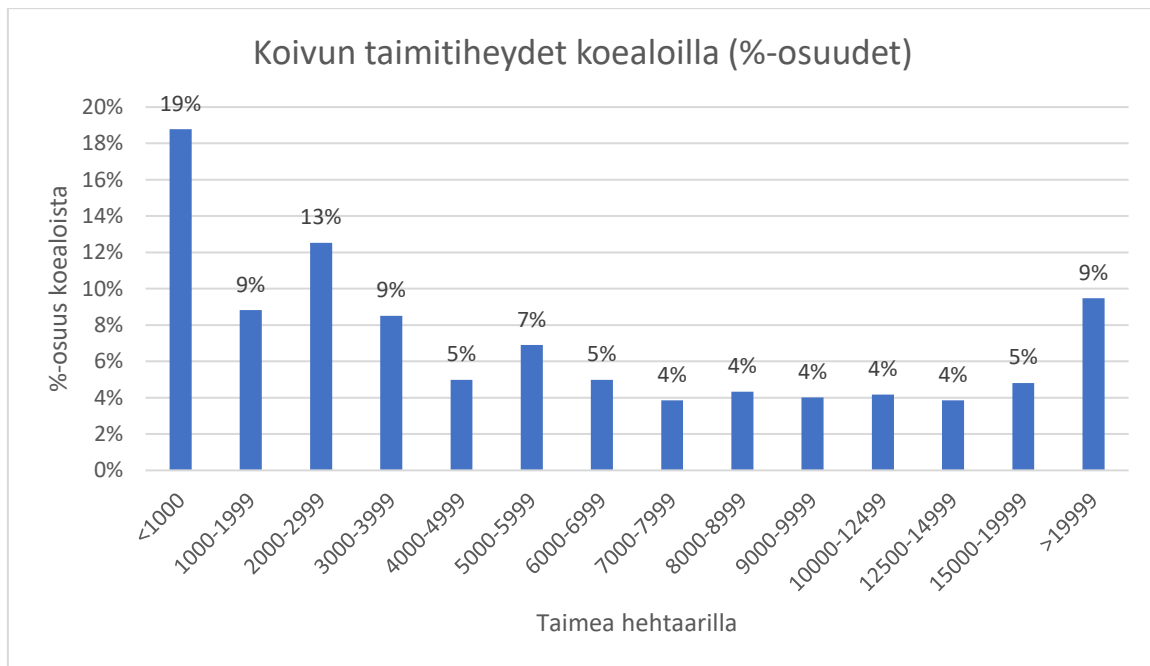
Männyn taimien hehtaarikohtaiset taimitiheydet jäivät yli puolilla koealoista alle 2 000 kpl/ha (Kuva 16). Noin 16 % koealoista eli 101 koealaa oli täysin ilman männyntaimia ja 13 % koealoista jäi muutoin tiheydeltään alle 1 000 kpl/ha. Hieman alle puolella koealoista (45 %) männyntaimia oli yli 2 000 kpl/ha. Taimitiheydeltään 2 000-2 999 kpl/ha männyntaimia oli 15 % koealoista, ja 11 % koealoista oli männyntaimitiheydeltään 3 000-3 999 kpl/ha. Tiheitä eli yli 5 000 kpl/ha männyntaimikoita oli 14 %:lla koealoista.



Kuva 16 Koealojen taimitiheyksien jakautuminen männyllä.

3.2.2. Koivu

Koivutaimikoiden tiheys oli yli 2000 kpl/ha 72 %:lla koealoista (Kuva 17). Koealoista 19 % jäi taimitiheydeltään alle 2 000 kpl/ha. Kokonaan ilman koivuntaimia oli 52 koealaa eli 8 % koealoista. Kuvasta 17 nähdään, että koivun tiheydet olivat hyvin suuria: 10 000-19 999 kpl/ha taimitiheyksiä koivulla mitattiin 13 %:lla koealoista ja 9 %:lla koealoista oli taimitiheydeltään vähintään 20 000 koivuntaimea hehtaarilla.



Kuva 17 Koealojen taimitiheyksien jakautuminen koivulla.

3.2.3. Kuusi

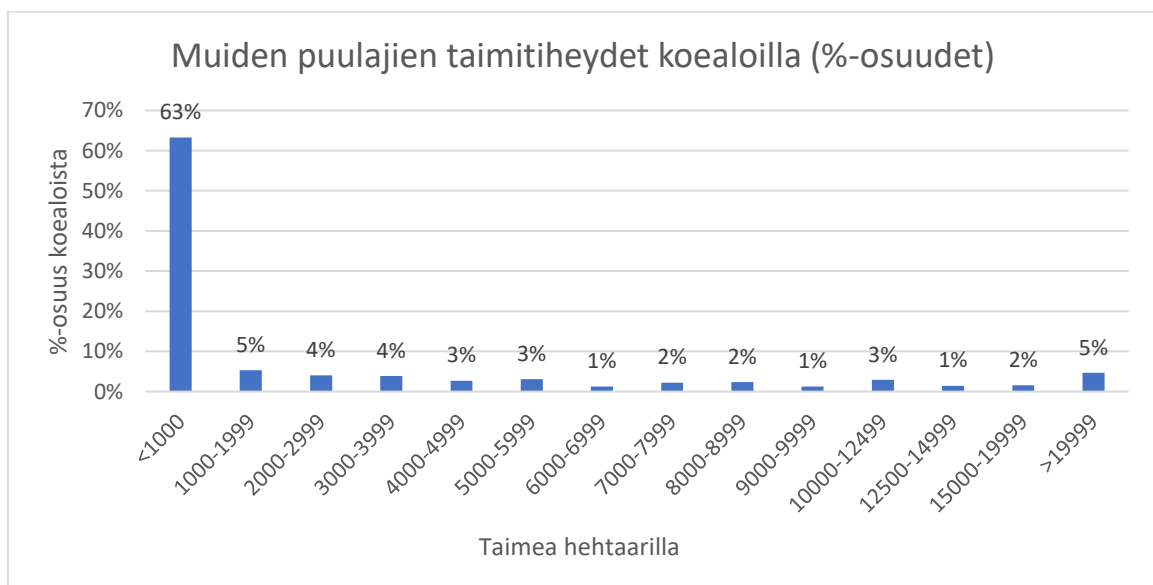
Kuusia havaittiin vain 25 prosentilla koealoista. Näistä vain kuudella prosentilla kuusentaimien hehtaarikohtainen taimitiheys oli vähintään 2000 kpl/ha.

3.2.4. Muut puulajit

Muilla puulajeilla tässä tutkimuksessa käsitetään kaikki muut puulajit kuin mänty, koivu ja kuusi. Suurimmaksi osaksi ne olivat pajuja, mutta mukana oli myös mm. pihlajaa, vaahtera ja leppää. Näiden osuuksia ei tutkittu. Muita puulajeja havaittiin 44 %:lla koealoista. Hieman yli puolella eli 56 %:lla (349 koealaa) koealoista ei kasvanut muihin puulajeihin kuuluvia taimia. Muiden puulajien taimitiheys oli 0 kpl/ha tai alle 1 000 kpl/ha 63 %:lla koealoista. Kuvasta 19 näkyy, että muuten muita puulajeja esiintyi koealoilla melko tasaisesti eri tiheyksillä. Vähintään 20 000 kpl/ha taimitiheyksiä oli 5 %:lla koealoista.



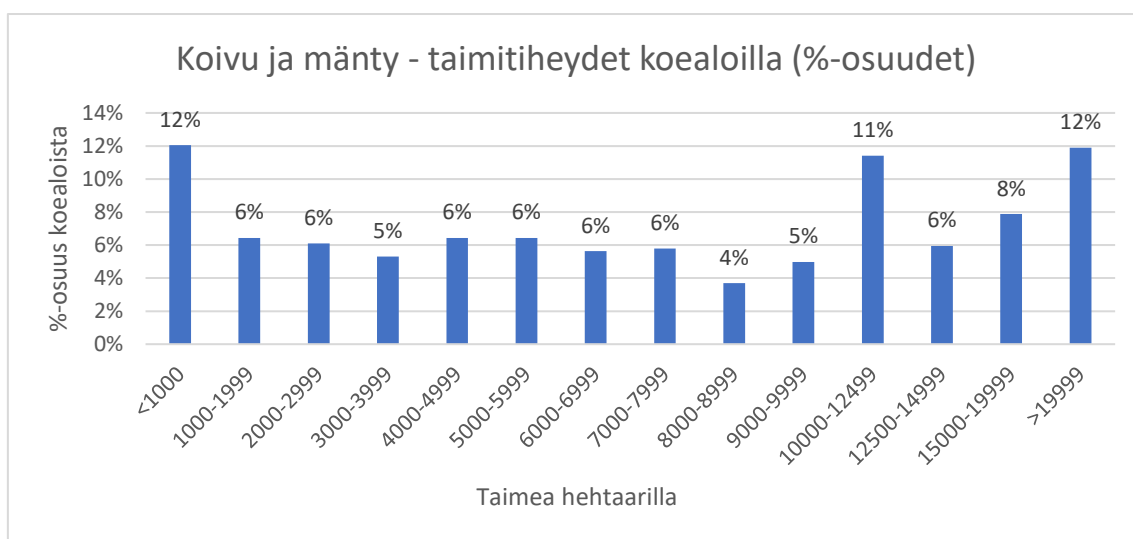
Kuva 18 Pajua löytyi osalta koealoista huomattavan suuria määriä. Kuva Kairinnevalta marraskuulta 2018. (Kuva: Isra Alatalo)



Kuva 19 Koealojen taimitiheyksien jakautuminen muilla puulajeilla.

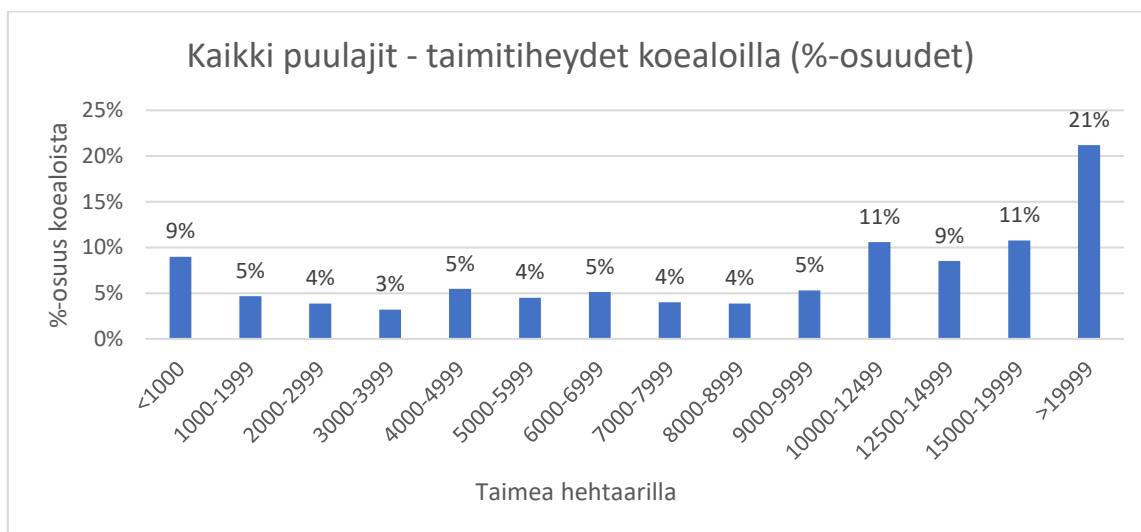
3.2.5. Puulajien yhteenlaskettu taimimäärä

Koealoista 12 %:lla taimitiheys oli koivun- ja männyntaimilla yhteensä alle 1 000 taimea hehtaarilla (Kuva 20). Näistä koealoista 34 kappaletta eli 5 % kaikista koealoista oli mitattaessa kokonaan ilman männyn- ja koivuntaimia. 40 koealalta (6 %) mitattiin 1 000-1 999 taimitiheydet männyn- ja koivuntaimien yhteenlaskettuna määränä. Koealoista 82 % saavutti vähintään tavoitetaimitiheyden 2 000 kpl/ha, ja 11 %:lla taimitiheys oli vähintään 10 000 kpl/ha.



Kuva 20 Koealojen taimitiheyksien jakautuminen koivun- ja männyntaimien yhteismäärän kohdalla.

Jos kaikkien puulajien taimet lasketaan yhteen, vain 3 % koealoista oli täysin ilman taimia. Koealoista 74 %:lla taimitiheys oli vähintään 5 000 taimea hehtaarilla. Yli 20 000 kpl/ha oli 21 %:lla koealoista (Kuva 21).



Kuva 21 Koealojen taimitiheyksien jakautuminen kaikkien puulajien taimilla.

3.3. Tekijöiden vaikutus taimettumisen onnistumiseen

Tutkimusta aloitettaessa asetettu koivun- ja männyntaimien yhteistavoitetaimitiheys 2 000 kpl/ha toteutui koealoista 82 %:lla. Koivulla tavoitellun taimitiheyden (2 000 kpl/ha) saavutti 72 % koealoista ja männyllä 45 %. Jos tarkastellaan kaikkia koealoilta löytyneitä taimia (koivu, mänty, kuusi ja muut puulajit), niin 2 000 taimea hehtaarilla tiheys saavutetaan 86 %:lla koealoista.

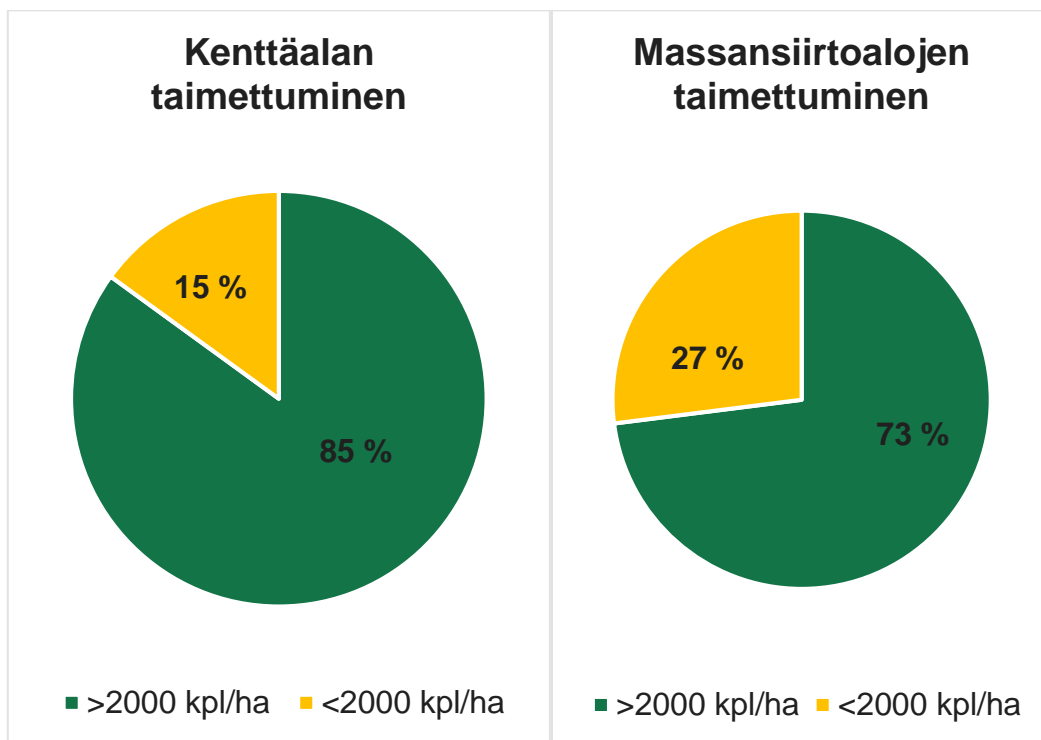
Taulukossa 4. on eriteltynä, kuinka suurella osalla koealoista eri turvetuotantoalueiden suonpohjilla on saavutettu 2 000 taimen hehtaarikohtainen tiheys. Seuraavaksi tarkastellaan, miten eri tekijöillä on ollut vaikutusta taimettumisen onnistumiseen koealoilla. Tulokset on esitetty tässä osiossa männyn- ja koivuntaimien yhteistuloksena, ellei toisin ole erikseen mainittu.

Taulukko 4 Eri turvetuotantoalueilta otettujen koealojen taimettumisen tavoitetiheyden saavuttaminen.

Turvetuotantoalue	Koivu + mänty taimitiheys >2 000 kpl/ha
Kairinneva	80 %
Paju- ja Pihlassuo	87 %
Rajasuo	84 %
Laviassuo	88 %
Hakonevat	83 %
Alkkianneva	88 %
Ropolansuo	89 %
Kovalansuo	91 %
Huppionsuo	59 %
Karjalansuo	68 %

2 000 taimen hehtaarikohtaiseen taimitiheyteen yltäneiden koealojen määrässä oli merkittävää eroa massansiirtoalueiden sekä vanhan kenttäalan välillä. Kuvasta 22

nähdään, miten massansiirtoalueilla 27 % koealoista jäi taimitiheydeltään alle 2 000 taimen hehtaarilla. Vanhan kenttäalan osalta sen sijaan 15 % koealoista jäi alle tavoitellun taimitiheyden. Massansiirtoalojen heikompi taimettuminen johtuu luultavasti alueiden heikommasta vesitaloudesta, joka näkyy kuvasta 9. Taulukosta 2 nähdään, että Huppion- ja Karjalansuolla koealat olivat keskittyneet muita tutkittuja suonpohjia enemmän massansiirtoalueille. Tämä selittää niiden muita heikompaa taimettumista.



Kuva 22 Tavoitetaimitiheyden täytyminen koealoilla kenttä- ja massansiirtoaloilla.

Tutkimuksen tulosten mukaan vesitaloudella on huomattava vaikutus tuhkalannoitettujen suonpohjien taimettumiseen. Varianssianalyysillä analysoitiin vesitalouden vaikutusta puulajien taimitiheyksiin. Koivun ja männyn osalta havaittiin vesitaloudella olevan selvä tilastollisesti merkitsevä vaikutus. Molempien, koivun ja männyn, kohdalla p-arvo on 0,000 (Taulukko 5). Taulukosta 5. nähdään, että Tukeyn testin perusteella männyllä vesitalous on tilastollisesti merkitsevä vertailtaessa taimettumista kaikkien kolmen luokan välillä. Koivulla tulokset viittaavat, että vesitalous on merkitsevä tekijä verrattaessa vesitaloudeltaan kuivia alueita vettyneisiin tai veden vallassa oleviin. Koivulla vettyneiden ja veden vallassa olleiden alueiden välillä merkitsevyyttä ei ollut. Muiden puulajien osalta p-arvo oli 0,418 eli vesitalous ei osoittautunut tilastollisesti

merkitseväksi tekijäksi taimettumisen kannalta. Kuvista 23, 24 ja 25 nähdään puulajeittain korjatut ryhmäkeskiarvot eri vesitalousluokissa.

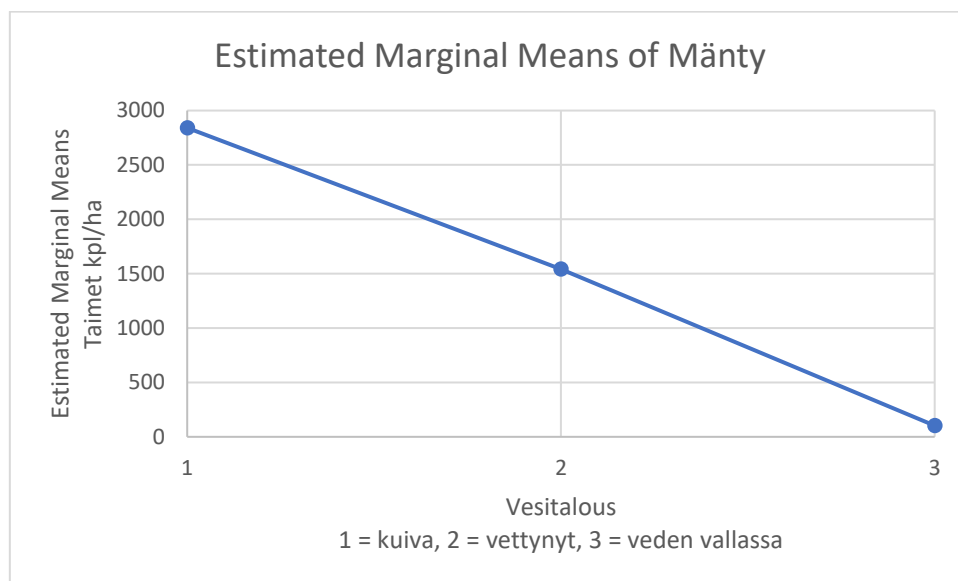
Taulukko 5 Varianssianalyysin tulokset vesitalouden vaikutuksesta taimitiheyksiin eri puulajeilla.

		N (Koealojen lkm)
Vesitalous	a_kuiva	516
	b_vettyntyt	74
	c_veden vallas	33

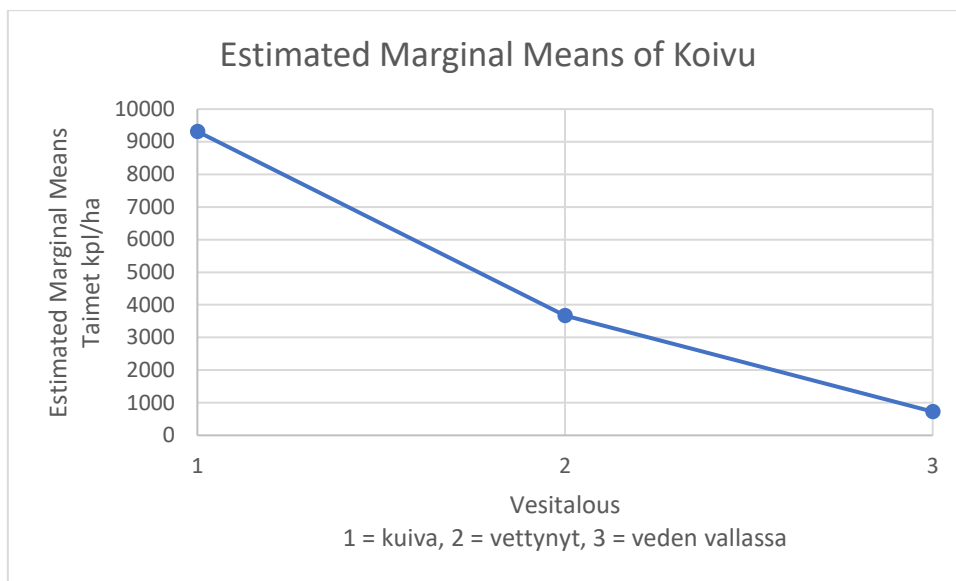
Puulaji kohtaiset selittävyydet ja merkitsevyydet

Puulaji	R squared	p-arvo
Mänty	0.060	0.000
Koivu	0.040	0.000
Muut	0.003	0.418

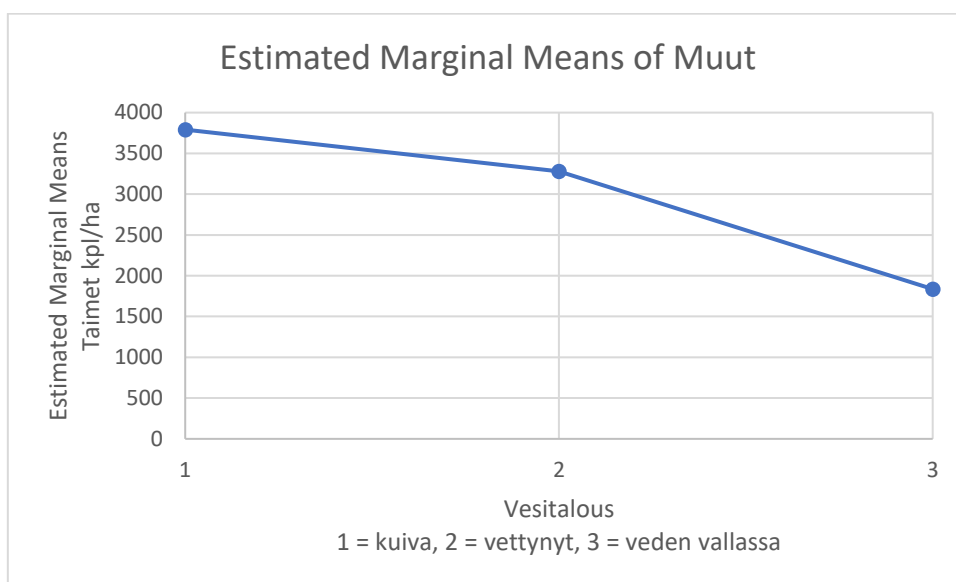
Tukey (parittainen vertailu)		Mänty	Koivu	Muut
(I) Vesitalous		p-arvo	p-arvo	p-arvo
a_kuiva	b_vettyntyt	0.001	0.001	0.882
	c_veden vallas	0.000	0.000	0.414
b_vettyntyt	a_kuiva	0.001	0.001	0.882
	c_veden vallas	0.040	0.499	0.701
c_veden vallas	a_kuiva	0.000	0.000	0.414
	b_vettyntyt	0.040	0.499	0.701



Kuva 23 Männyn taimitiheyksien korjatut ryhmäkeskiarvot eri vesitalousluokissa.



Kuva 24 Koivun taimitiheyksien korjatut ryhmäkeskiarvot eri vesitalousluokissa.



Kuva 25 Muiden puulajien taimitiheyksien korjatut ryhmäkeskiarvot eri vesitalousluokissa.

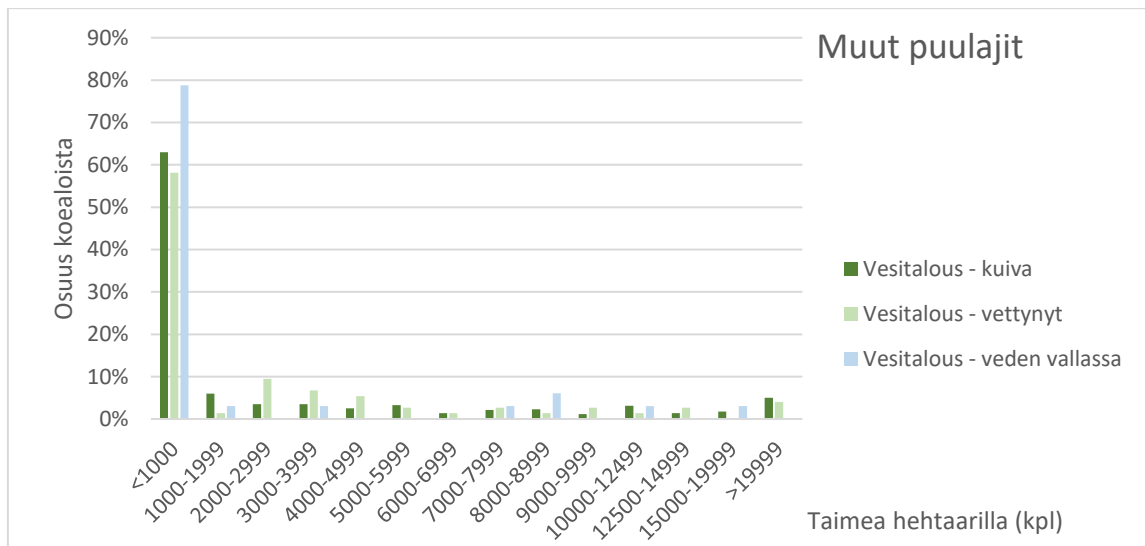
Taulukosta 6 nähdään, miten vesitalouden heiketessä koivun- ja männyntaimien yhteenlasketut määrät vähenevät merkittävästi verrattuna kuivan vesitalouden koealoihin. Veden vallassa olleista koealoista puolet oli kokonaan ilman taimia ja taimettuneetkin koealat olivat hyvin suurelta osin jääneet alle asetetun tavoitetason. Vain 9 % veden vallassa olleista koealoista ylitti tavoitellun taimitiheyden. Vesitaloudeltaan vettynöillä koealoilla tavoitellun tason taimettumisessa saavutti 68 % koealoista. Kuivana olleista koealoista suurin osa eli 88 % oli taimitiheydeltään vähintään 2 000 kpl/ha. Kuvista 27, 28 ja 29 nähdään vastaavat tiedot puulajeittain koivun, männyn ja muiden puulajien osalta.

Taulukko 6 Vesitalouden vaikutus koealojen männyn- ja koivuntaimien yhteistaimitiheyteen. (Huom. taulukon ensimmäisessä sarakkeessa oleva 0 kpl/ha sisältyy myös toisena olevaan <1000 kpl/ha sarakkeeseen.)

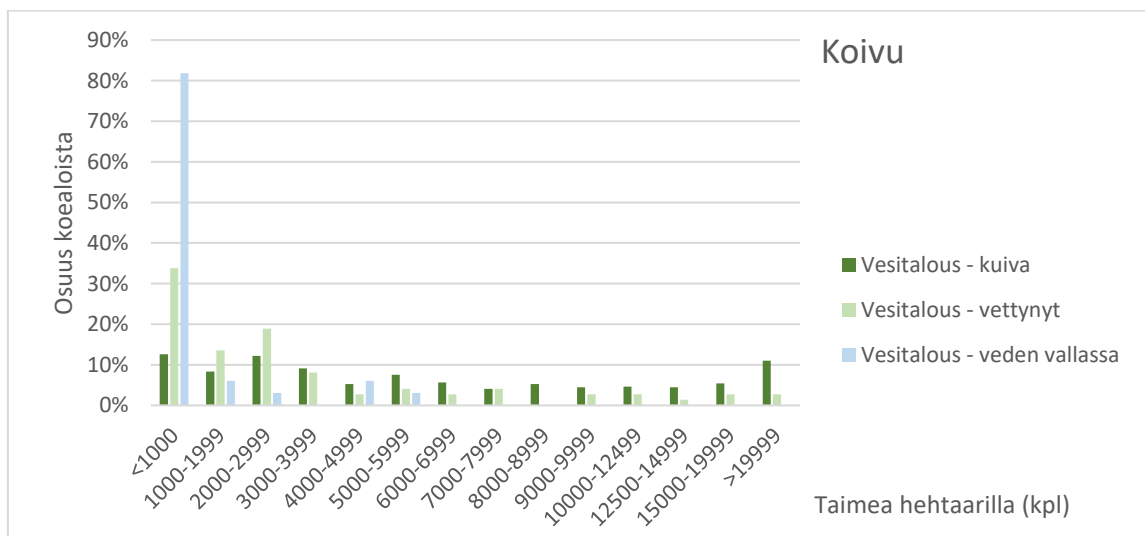
Vesitilanne	0	<1000	1000-1999	2000-3999	4000-5999	6000-7999	8000-9999	10000-12499	12500-14999	15000-19999	>19999
% - kuiva vesitilanne	2 %	6 %	6 %	10 %	12 %	12 %	9 %	13 %	7 %	9 %	14 %
% - vettynyt	9 %	24 %	8 %	25 %	16 %	8 %	7 %	3 %	1 %	5 %	3 %
% - veden vallassa	55 %	79 %	9 %	0 %	9 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
% - kaikki koealat	5 %	12 %	6 %	11 %	12 %	12 %	9 %	11 %	6 %	8 %	12 %



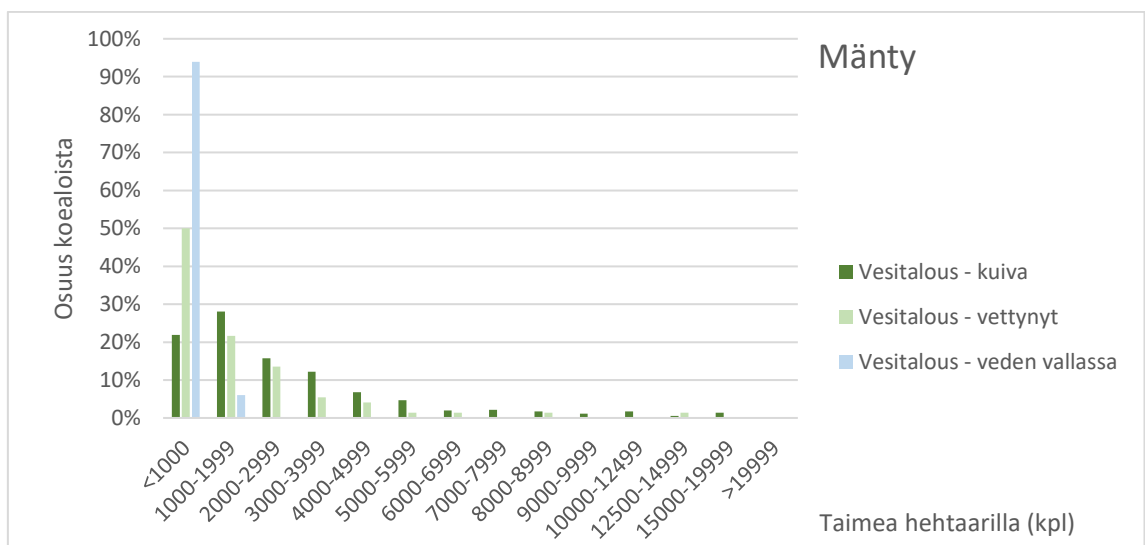
Kuva 26 Tutkimuksessa olleiden alueiden vesitaloudellinen tila vaihteli paljon. Vesitaloudeltaan kuivat koealat olivat taimettuneet hyvin verrattuna märempiin koealoihin. (kuva: Isra Alatalo)



Kuva 27 Muiden puulajien taimitiheyksien jakautuminen vesitalouden mukaan.

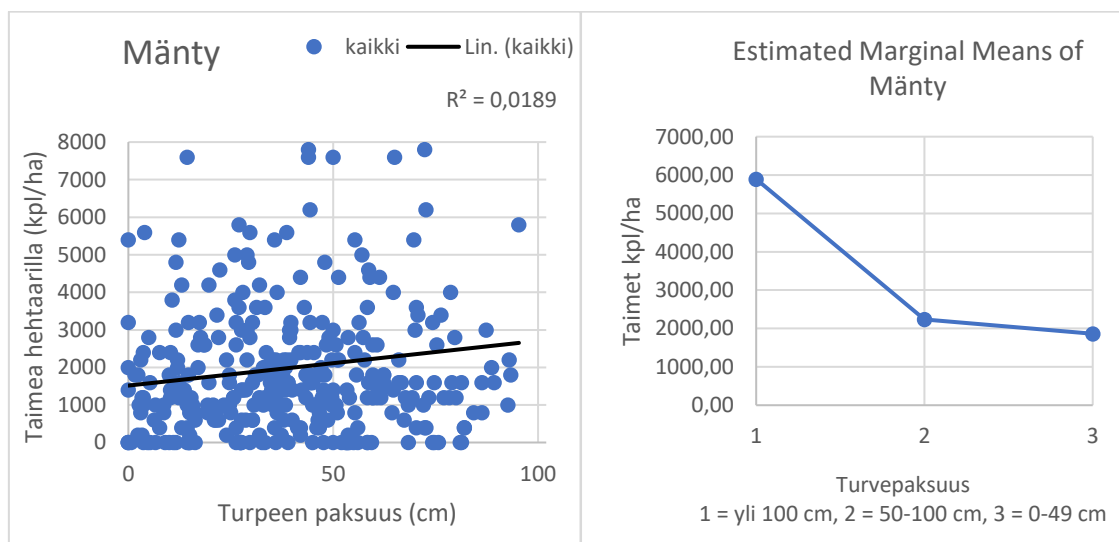


Kuva 28 Koivun taimitiheyksien jakautuminen vesitalouden mukaan.



Kuva 29 Männyn taimitiheyksien jakautuminen vesitalouden mukaan.

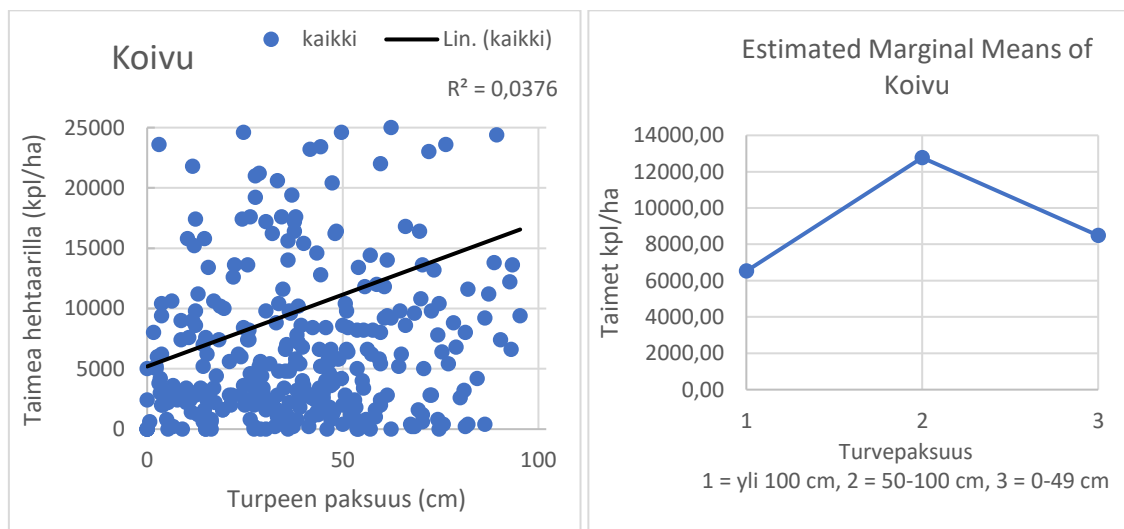
Turvekerroksen paksuus suonpohjalla näytti lisäävän männyn taimettumista (Kuva 30). Analysoitaessa aineisto, jossa oli turvepaksuudeltaan alle 102 cm koealat, näytti turvekerros paksuuntuessaan nostavan hieman taimitiheyttä. Turpeen paksuus oli tilastollisesti merkitsevä (p-arvo 0,011) (Taulukko 7). Regressioanalyysillä saatiin käsiteltyä myös koealat, joilla mitattu turvepaksuus oli 102 cm. Tässä analyysissä turpeen paksuudella oli vielä suurempi vaikutus männyn taimitiheyksiin. Kuvan 30. oikeasta kuvaajasta nähdään, että yli 100 cm turvepaksuuksilla taimimäärät olivat huomattavasti ohuempia paksuusluokkia suuremmat. Taulukosta 8 nähdään, että Tukeyn testin perusteella turpeen paksuus oli tilastollisesti merkitsevä paksuimman turvekerrosluokan ja kahden ohuemman luokan välillä (p-arvot 0,000). Turpeen paksuus ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä kahden turvekerrokseltaan ohuemman luokan välillä (p-arvo 0,393).



Kuva 30 Vasemmalla turpeen paksuuden vaikutus männyn taimitiheyteen alle 102 cm paksuuksilla. Oikealla männyn taimitiheyksien korjatut ryhmäkeskiarvot luokiteltuna turpeen paksuuden mukaan (Mukana myös turvepaksuuteen 102 cm merkatut).

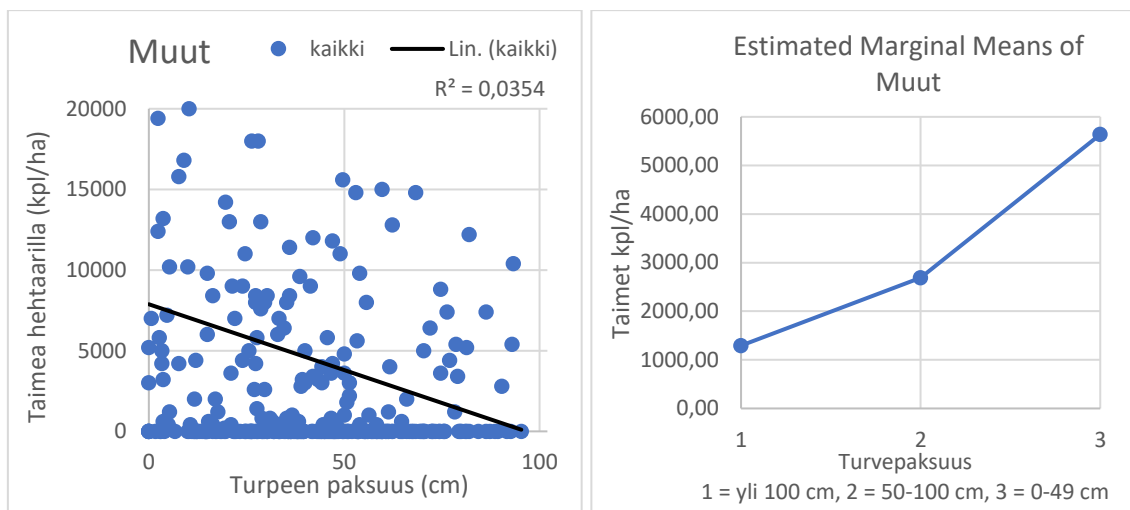
Myös koivulla turpeen paksuus näytti lisäävän taimitiheyttä (Kuva 31). Kun tarkasteltiin alle 102 cm turvepaksuuksia, taimitiheydet kasvoivat voimakkaasti turvekerroksen paksuuntuessa, kuten kuvan 31 vasemmasta kuvaajasta näkyy. Regressioanalyysissä turpeen paksuus oli tilastollisesti merkitsevä tekijä koivuntaimien hehtaariohtaiselle taimitiheydelle (p-arvo 0,000) (Taulukko 7). Kun varianssianalyysillä analysoitiin myös 102 cm paksuudeksi saaneet koealat, oli turpeen paksuus edelleen tilastollisesti

merkitsevä tekijä (p-arvo 0,009) (Taulukko 8). Tukeyn testin perusteella kuitenkin turpeen paksuus on tilastollisesti merkitsevä vain keskimmäisen (50-100 cm) turvepaksuusluokan ja paksuimman (>100 cm) luokan sekä keskimmäisen ja ohuimman (0-49 cm) luokan välillä (p-arvot 0,033 ja 0,020) (Taulukko 8). Turpeen paksuudeltaan paksuimman ja ohuimman luokan välillä turpeen paksuudella ei ollut tilastollista merkitsevyyttä koivun taimitiheyksiin (p-arvo 0,673) (Taulukko 8).



Kuva 31 Vasemmalla turpeen paksuuden vaikutus koivun taimitiheyteen alle 102 cm paksuuksilla. Oikealla koivun taimitiheyksien korjatut ryhmäkeskiarvot luokiteltuna turpeen paksuuden mukaan (Mukana myös turvepaksuuteen 102 cm merkatut).

Muiden puulajien taimitiheydet nousivat turvekerroksen ohentuessa (Kuva 32). Regressioanalyysillä turpeen paksuus oli tilastollisesti merkitsevä tekijä taimitiheyksille (p-arvo 0,000) (Taulukko 7). Muiden puulajien taimitiheydet kasvoivat erityisesti ohuimmilla turvepaksuuksilla. Tämä näkyy kuvan 32 oikeanpuoleisesta kuvaajasta. Turpeen paksuus oli merkitsevä tekijä myös varianssianalyysissä (p-arvo 0,003) (Taulukko 8). Taulukosta 8 nähdään, että Tukeyn testin perusteella tilastollinen merkitsevyys on ohuimman (0-49 cm) paksuusluokan ja kahden paksumman luokan välillä (p-arvot 0,017 ja 0,019). Kahden paksumman luokan välillä turpeen paksuudella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta muiden puulajien taimitiheyksiin (p-arvo 0,690).



Kuva 32 Vasemmalla turpeen paksuuden vaikutus muiden puulajien taimitiheyteen alle 102 cm paksuuksilla. Oikealla muiden puulajien taimitiheyksien korjatut ryhmäkeskiarvot luokiteltuna turpeen paksuuden mukaan (Mukana myös turvepaksuuteen 102 cm merkatut).

Taulukko 7 Regressioanalyysin tulokset turpeen paksuuden vaikutuksesta (alle 102 cm) eri puulajien taimitiheyksiin.

Puulaji	N	R Square	p-arvo
mänty	339	0.019	0.011
koivu	339	0.038	0.000
muut	339	0.035	0.000

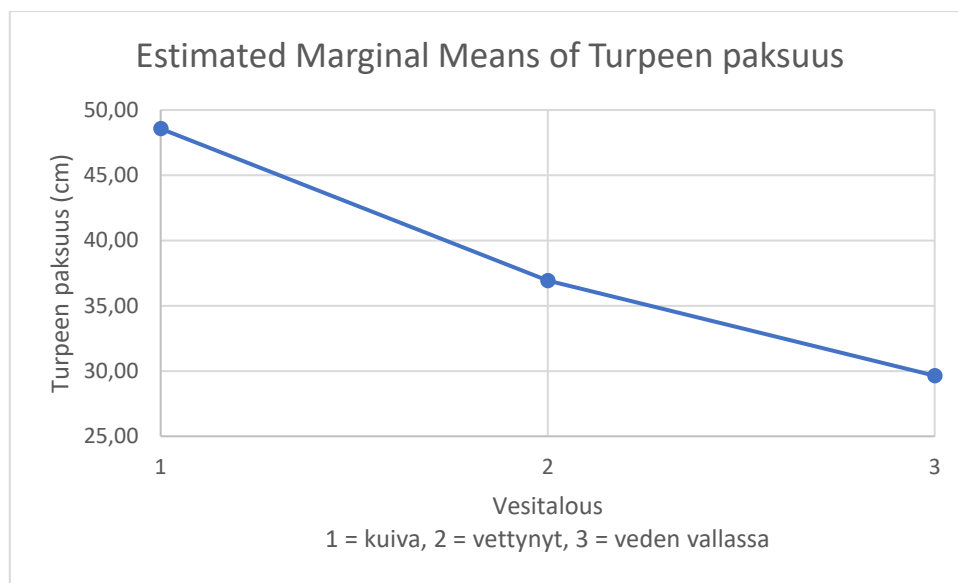
Taulukko 8 Varianssianalyysin tulokset turpeen paksuuden vaikutuksesta taimitiheyksiin eri puulajeilla (Mukana myös turvepaksuuden 102 cm saaneet).

Turvepaksuus	N
a_>100cm	43
b_50-100cm	113
c_0-49cm	226
Total	382

Puulaji	R squared	p-arvo
Mänty	0.202	0.000
Koivu	0.025	0.009
Muut	0.031	0.003

Tukey (parittainen vertailu)				
		Mänty	Koivu	Muut
		p-arvo	p-arvo	p-arvo
a_>100cm	b_50-100cm	0.000	0.033	0.690
	c_0-49cm	0.000	0.673	0.017
b_50-100cm	a_>100cm	0.000	0.033	0.690
	c_0-49cm	0.393	0.020	0.019
c_0-49cm	a_>100cm	0.000	0.673	0.017
	b_50-100cm	0.393	0.020	0.019

Turvekerroksella ja vesitaloudella vaikuttaa tulosten mukaan olevan yhteys. Näyttää siltä, että paksumpi turvekerros voisi taata kuivemmat olosuhteet verrattuna ohuempisiin turvepaksuuksiin. Kuten kuvasta 33 näkyy, kuivilla alueilla turve on paksumpaa kuin märemmillä alueilla. Taulukosta 9 nähdään vesitalouden olevan tilastollisesti merkitsevä tekijä selitettäessä turpeen paksuutta suonpohjilla (p-arvo 0,004). Tukeyn testin perusteella tilastollinen merkitsevyys on vesitaloudeltaan kuivan ja molempien märempien vesitalousluokkien välillä (p-arvot 0,038 ja 0,047). Vettyneen ja veden vallassa olleiden välillä ei ollut tilastollista merkitsevyyttä (p-arvo 0,695) (Taulukko 9).



Kuva 33 Turpeen paksuuksien korjatut ryhmäkeskiarvot vesitalousluokissa

Taulukko 9 Varianssianalyysin tulokset vesitalouden vaikutuksesta turpeen paksuuteen koealoilla.

Sig.		0.004	Tukey (Parittainen vertailu)	(I) Vesitalous		Sig.
R squared		0.028		a_kuiva	b_vettynyt	0.038
					c_veden vallassa	0.047
				b_vettynyt	a_kuiva	0.038
					c_veden vallassa	0.695
				c_veden vallassa	a_kuiva	0.047
					b_vettynyt	0.695
N						
Vesitalous	a_kuiva	325				
	b_vettynyt	43				
	c_veden vallassa	14				

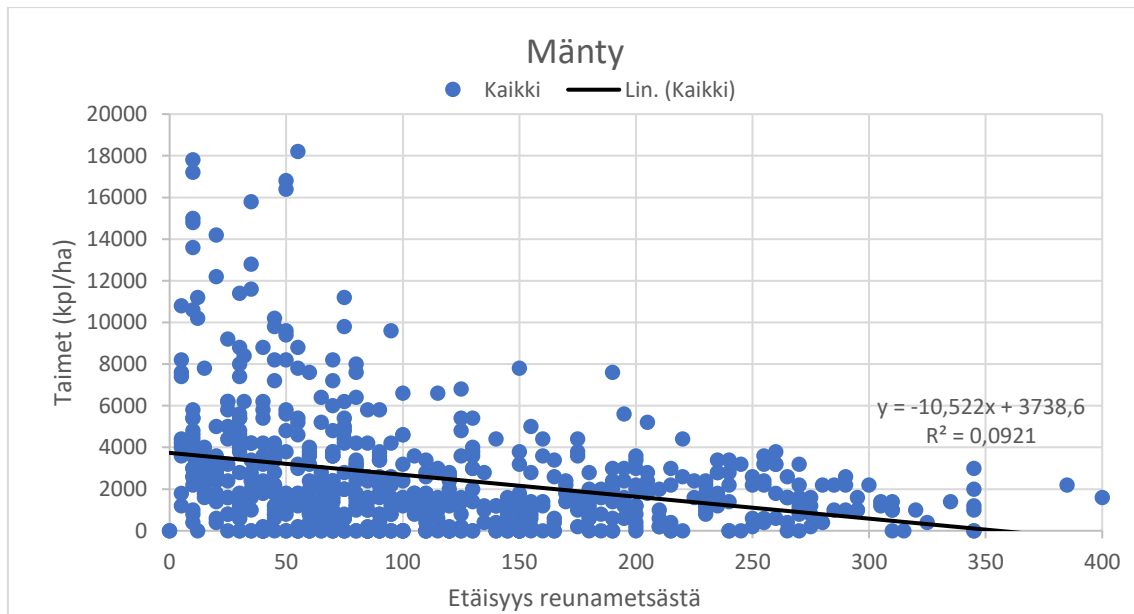


Kuva 34 Reunametsä voi olla suonpohjilla joskus kaukana. Alkiannevalla joulukuussa 2018. (Kuva: Isra Alatalo)

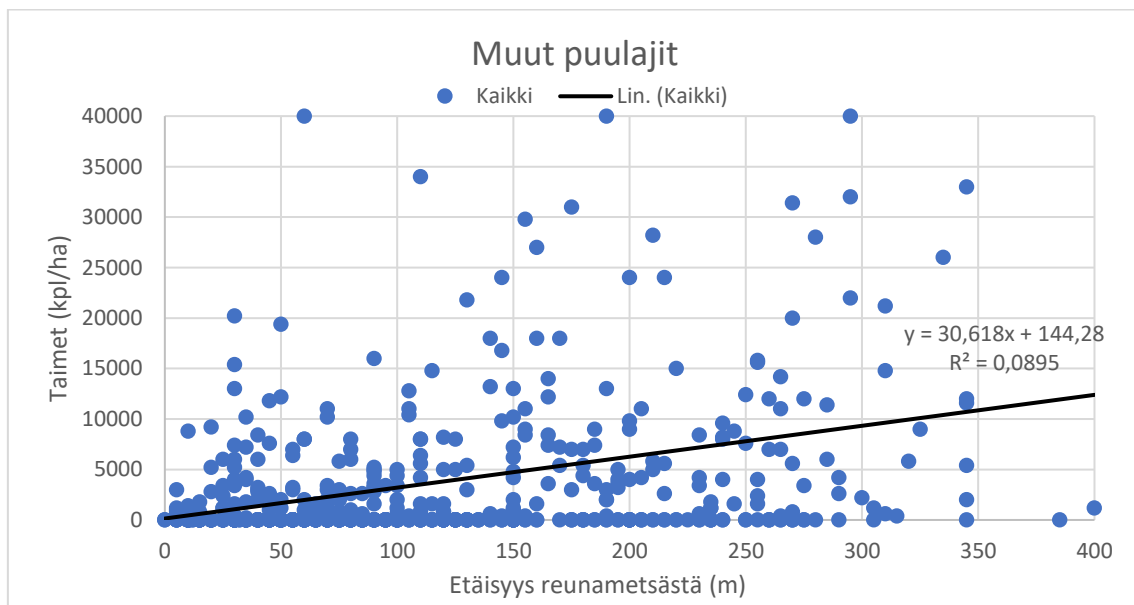
Reunametsän etäisyyden merkityksellä taimettumiseen on eroja männyn-, koivun- ja muiden puulajien taimien välillä. Männyn ja muiden puulajien kohdalla etäisyys reunametsään vaikuttaa taimettumiseen. Männyllä, kuten kuvasta 35 nähdään, etäisyys reunametsästä vähentää taimettumista. Muiden puulajien taimettuminen taas lisääntyi etäisyyden reunametsään kasvaessa (Kuva 36). Reunametsän etäisyys oli männyn- ja muiden puulajien taimien kohdalla tilastollisesti merkitsevät tekijä (p-arvot 0,000 ja 0,000) (Taulukko 10). Kuvasta 35 nähdään, että männyllä suurimmat taimitiheydet ovat olleet alle sadan metrin päässä reunametsästä. Lähes kaikki männyn yli 10 000 kpl/ha tiheydet ovat olleet alle 50 metrin päässä reunametsästä. Männyllä kuitenkin vielä 200 metrin päässä reunametsästä on mahdollista päästä yli 2 000 taimen hehtaarikohtaisiin tiheyksiin.

Taulukko 10 Regressioanalyysin tulokset reunametsän etäisyyden vaikutuksesta eri puulajien taimettumiseen.

Puulaji	n	R Square	p-arvo
Mänty	623	0.092	0.000
Koivu	623	0.001	0.410
Muut	623	0.089	0.000



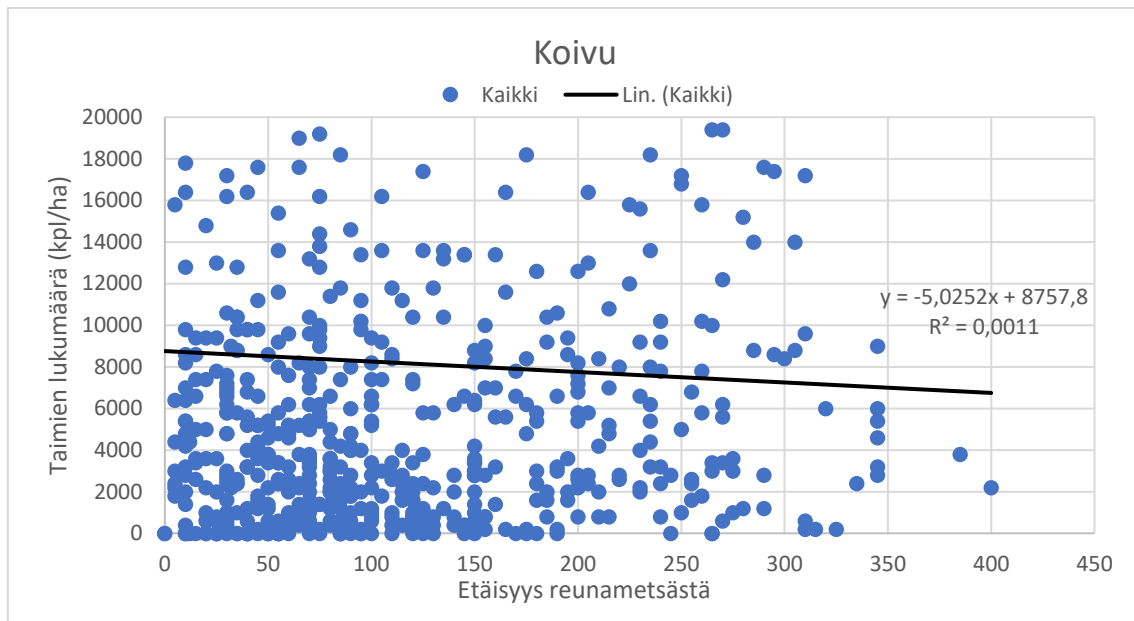
Kuva 35 Reunametsän etäisyyden vaikutus männyn taimettumiseen.



Kuva 36 Reunametsän etäisyyden vaikutus muiden puulajien taimettumiseen.

Kuvasta 37 nähdään, että koivun kohdalla ei etäisyys reunametsään vaikuttanut taimettumiseen. Etäisyys reunametsään ei ollut tilastollisesti merkitsevä tekijä koivun taimettumiselle (p-arvo 0,410) (Taulukko 10). Kuvasta 37 näkyy kuitenkin etäisyyden

kasvaessa pieni laskeva suunta taimimäärissä. Koivulla kuitenkin vielä yli 300 metrin päässä reunametsästä taimitiheydet ovat suuria.



Kuva 37 Reunametsän etäisyyden vaikutus koivun taimettumiseen.

4. Tarkastelu

Tässä tutkimuksessa tavoitetaimitiheys (männyn- ja koivuntaimien yhteistaimitiheys 2000 kpl/ha) toteutui suurella osalla tarkastelluista koealoista. Vaikuttaa siltä, että luontainen uudistaminen tuhkalannoitetuilla suonpohjilla on tapa, jolla suonpohja saadaan metsitettyä turvetuotannon jälkeen. Tämä on samansuuntainen tulos kuin muun muassa Huotarilla ym. (2008) Suomessa, Renou Wilsonilla ja Farrelilla (2008) Irlannissa ja Bussieresilla ym. (2008) Kanadassa.

Huotari (2011) totesi, että tuhkalannoitetuilla alueilla luontainen uudistaminen näyttää olevan hyvä tapa saada erityisesti koivutaimikko suonpohjille. On kuitenkin huomattava, että Huotarin ym. (2008) tutkimuksessa tuhkalannoituksella ja luontaisella uudistamisella saadut taimitiheydet olivat huomattavasti tässä tutkimuksessa mitattuja suuremmat. Kun Huotarin ym. (2008) tutkimuksessa mitattiin tuhkalannoitetuilta koealoilta keskimäärin taimia yli 200 000 kpl/ha, ei tässä tutkimuksessa yhtä suuria määriä havaittu kuin

yksittäisillä koealoilla. Vain 9 % tämän tutkimuksen koealoista saavutti koivulla 20 000 kpl/ha taimimäärän (kuva 17). Huotar in ym. (2008) koealoille lannoitukset oli tehty toukokuussa, kun tämän tutkimuksen alueille tuhkat oli levitetty talvilevityksenä. Voiko lannoituksen ajankohdalla olla vaikutusta siihen, ettei tämän tutkimuksen koealoilla ylletty Huotar in ym. (2008) taimitiheyksiin? Onko mahdollisesti sulamisvesien mukana lähtenyt osa tuhkasta pois, ja onko sillä vaikutusta taimettumiseen?

Renou-Wilson ym. (2010) totesivat metsitetyillä suonpohjilla koivujen usein haarautuvan monirunkoiseksi. Tämä, ja se että suurin osa koivuista on hieskoivuja (Huotari ym. 2008), vaikuttaa koivun käytettävyyteen tulevaisuudessa. Kuitenkin tuhkalannoitetuilta luontaisesti uudistetuilta suonpohjilta on mahdollisesti kannattavaa tuottaa biomassaa energiapuuksi (Hytönen & Aro 2012, Jylhä ym. 2015). Suopohjilla lannoitus puutuhkalla voi riittää tyydyttämään puuston ravinnetarpeet yhdeksi noin 30 vuoden energiapuukierroksi (Huotari 2011). Huotar in (2011) mukaan on kuitenkin mahdollista, että erityisesti kaliumista tulee puute jo aiemmin, ja lisälannoituksille on tarve kierron aikana.

Männyn taimien hehtaariohittaiset taimimäärät tuhkalannoitetuilla suonpohjilla olivat Huotar illa ym. (2008) vain 0-1500 kpl/ha. Tässä tutkimuksessa männyn taimien osalta päästiin korkeampiin taimimääriin (kuva 16), vaikka yli puolet koealoista jäikin alle 2 000 kpl/ha. Huotari ym. (2008) havaitsivat huomattavasti lannoitettuja koealoja korkeammat männyn taimien lukumäärät lannoittamattomilta koealoilta. Sekä tässä että Huotar in ym. (2008) tutkimuksessa havaitut taimimäärät jäävät paljon alle 5000 kpl/ha. Hytösen ja Aron (2005) mukaan laadukkaan männyn kasvattamiseen suonpohjilla vaaditaan taimia vähintään 5 000 kpl/ha.

Vesitalous on tämän tutkimuksen perusteella tuhkalannoitetuilla suonpohjilla ehdottomasti merkittävin taimettumisen onnistumiseen vaikuttava tekijä. Myös muilla tekijöillä on puulajista riippuen merkitystä, mutta vesitalous on tutkimuksessa tavoitteeksi asetetun 2 000 männyn- tai koivun taimen hehtaariohittisuuden toteutumisen kannalta määräävä tekijä. Jos koealat eivät olleet riittävän kuivia, ei muiden tekijöiden merkitys päässyt esiin. Tavoitellun taimitiheyden saavutti 82 % koealoista (Kuva 20). Tavoitteesta jääneistä alueista 46 % oli joko vettyneitä tai veden vallassa. Veden vallassa olleista alueista 88 % ja vettyneistä 32 % jäi alle tavoitellun taimitiheyden (Taulukko 6).

Miksi kuitenkin 12 % (Taulukko 6) kuivana olleista koealoista jäi tavoitteeksi asetetusta taimitiheydestä? Yksi mahdollinen syy voi olla lannoituksen puuttuminen osalta näistä alueista. Kolmasosalta alle tavoitetaimitiheyden jääneistä ja vesitaloudeltaan kuivista koealoista löytyi kenttälomakkeesta maininta paljaasta turvepinnasta eli epäily lannoittamattomuudesta. Näiltä alueilta puuttui kasvipeite kokonaan. Koska nämä koealat sijaitsivat yleensä keskellä muuta tuhkalannoitettua aluetta, voidaan olettaa näiden olleen mukana lannoituksessa. Mahdollisesti näillä kohdilla on tapahtunut lannoituksessa häiriö, jonka seurauksena tuhka ei ole levinnyt alueelle. Toinen mahdollisuus on, että vesi on huuhtonut tuhkan pois. Lannoituksessa tapahtunutta häiriötä tai tuhkan pois huuhtoutumista eli molemmissa tapauksissa paikallisesti ilman tuhkaa jäämistä tukisi Huotarin ym. (2008) tulokset, jossa koivun taimettumisen todettiin lannoittamattomilla alueilla olevan huonoa. Puuttuva kasvipeite myös mm. Huotarin ym. (2007) ja Silvan ja Hytösen (2016) tulosten perusteella tukisi puuttuvaa lannoitusta.

Kairinnevalla useilla alle tavoitellun hehtaaritiheyden jääneillä koealoilla kasvoi huomattavasti pajuja. Näiltä koealoilta mitattiin pajuilta yli 200 000 kpl/ha taimitiheyksiä. Kairinnevan pajujen ja mahdollisten lannoituksessa sattuneiden häiriöiden lisäksi ei vesitaloudeltaan kuivilla alle tavoitetaimitiheyden jääneillä koealoilla löytynyt heikkoa taimettumista selittäviä tekijöitä.



Kuva 38 Tuhkalannoitettua suonpohjaa Kairinnevalla marraskuussa 2018. Kuvassa näkyvät tummat pitkulaiset paljaat turvepinnat ovat mahdollisesti lannoituksessa jääneet ilman lannoitetta jonkin häiriön vuoksi. (Kuva: Ari Laukkanen, Vapo Oy)

Turpeen paksuus näyttää kuvan 30 perusteella auttavan männyn taimettumista. Tämä tulos kuitenkin eroaa Aron (1995) ja Kauniston (1987) tuloksista, joissa männyntaimet pärjäsivät paremmin turvekerroksen ohentuessa. Tämän tutkimuksen, Kauniston (1987) tutkimuksen ja Aron (1995) tutkimuksen välillä on huomattava erot tutkimusasetelmissa. Kaunisto ja Aro tutkivat istutettujen männyntaimien kehitystä, kun taas tässä tutkimuksessa keskityttiin luontaiseen taimettumiseen. Aron (1995) tutkimus keskittyi männyntaimien ravinnetilaan, kun taas Kauniston (1987) tutkimuksessa käsiteltiin elossa selviämistä, joten Kauniston (1987) tulokset vertautuvat tähän tutkimukseen paremmin. Kauniston (1987) tutkimuksessa turvepaksuudet ovat ohuimmillaankin lähes 30 cm. Tämä voi selittää eroa, koska turpeen paksuudella ja vesitaloudella näytti olevan vaikutusta toisiinsa (Kuva 33). Ohuimmilla turvekerroksilla, joita Kaunistolla (1987) ei tutkimuksessa ollut, vesitalous oli paksumia turvekerroksia todennäköisemmin vettynyt tai veden vallassa.

Turpeen paksuudella oli koivun taimettumiseen tilastollisesti merkitsevä vaikutus (Taulukot 7 ja 8). Suurimmat taimitiheydet koivulla oli turvepaksuuden ollessa 50-100 cm (Kuva 31). Renou ym. (2007) totesivat kuitenkin omassa tutkimuksessaan rauduskoivun ja hieskoivun selviytyvän hyvin hengissä, oli turpeen paksuus sitten ohut tai paksu. Suonpohjan märkyys ohutturpeisemmillä suonpohjilla mahdollisesti selittää heikompaa taimettumista näillä alueilla (Kuva 33).

Männyllä reunametsän puusto sekä etäisyys reunametsästä vaikuttivat taimettumiseen. Mäntyvaltainen reunametsä ja alle sadan metrin etäisyys reunametsään edistivät männyn taimettumista kuten nähdään kuvasta 35.

Koivun kuuluminen reunametsän puulajistoon edisti koivun taimettumista, mutta reunametsän etäisyydellä ei ollut taimettumiseen suurta vaikutusta (kuva 37). Koivulla saatiin vielä yli 300 metrin etäisyyksillä suurehkoja taimitiheyksiä. 100 metrin etäisyydellä koivun taimitiheydet olivat tässä tutkimuksessa noin 8 000 kpl/ha. Tämä jää paljon Kauniston (1981) mittaamista taimitiheyksistä, jotka olivat 100 metrin etäisyydellä yli 50 000 kpl/ha. Lisäksi Kauniston (1981) tutkimuksessa reunametsän etäisyydellä oli selvä vaikutus koivun taimitiheyteen.

Monilla koealoilla havaittiin myös runsasta heinittymistä tuhkalannoituksen seurauksena. Tällä on todennäköisesti negatiivinen vaikutus männyntaimien kehitykseen, jos ei tehdä heinäntorjuntaa.

5. Päätelmät

Tämän tutkimuksen tavoite oli selvittää, miten suonpohjien metsittämisessä yleisesti käytetty menetelmä on toiminut. Suonpohjien tuhkalannoitus ja luontainen uudistaminen vaikuttavat toimivalta menetelmältä varmistaa taimikon syntymisen suonpohjalle.

Tässä tutkimuksessa tavoiteltu taimitiheys (2 000 kpl/ha) todettiin yli 80 %:lla koealoista. Vesitaloudelta kuivilla alueilla koivun- ja männyntaimien yhteistaimitiheyden todettiin olevan yli 2 000 kpl/ha lähes 90 %:lla koealoista. Jättämällä pahiten veden vaivaamat alueet tuhkalannoituksen ulkopuolelle ja huolehtimalla olemassa olevien ojastojen kunnosta voidaan päästä siis lähes 90 % onnistumiseen tuhkalannoittamisella ja luontaisella uudistamisella. Vesitalous nousi tärkeimmäksi tekijäksi, joka vaikutti tuhkalannoitetun suonpohjan taimettumisen onnistumiseen.

Syntyvä metsä tulee todennäköisesti tällä menetelmällä olemaan sekametsä, jossa on koivua ja mäntyä. Paikoittain voi olla runsaasti myös muita puulajeja kuten pajuja. Kuusta ei näytä paljoa suonpohjalle syntyvän. Koivu tulee suuressa osissa suonpohjia olemaan vallitseva puulaji. Mäntyvaltaisia taimikoita syntyy, kun suonpohjaa reunustaa mäntyvaltainen reunametsä, joka on riittävän lähellä. Laadukasta mäntyä haluttaessa olisi taimimäärien oltava huomattavasti tässä tutkimuksessa havaittua korkeammat, noin 5 000 kpl/ha. Tähän taimitiheyteen ylsi vain 14 % koealoista. Jotta tulevaisuudessa saadaan aikaiseksi sahatavaraksi kelpaava männikkö, täytyy luontaisesti uudistunutta taimikkoa täydentää kylvämällä tai istuttamalla.

Tämän tutkimuksen mukaan suonpohjille jäävä turvekerros on hyvin vaihtelevan paksuinen. Aron ym. (1997) mukaan suonpohjalle jäävän turvekerroksen ei tulisi olla yli 30 cm, koska puiden juuret eivät paksummilla turvekerroksilla yletä pohjamaahan ja tämän vuoksi tulevat myöhemmin kärsimään ravinnepuutoksista. Onkin todennäköistä, että monet tämän tutkimuksen paksuturpeisemmista alueista tulevat tarvitsemaan

uudelleen lannoittamista ensimmäisen puusukupolven aikana. Männyntaimien kannalta on varmasti tarpeellista huolehtia myös heinän torjunnasta, koska oli havaittavissa runsastakin heinittymistä tuhkalannoituksen seurauksena.

6. Kiitokset

Kiitos Vapo Oy:lle tämän maisterintutkielman mahdollistamisesta ja rahoittamisesta. Vapo Oy:stä erityiset kiitokset ohjaajalleni Antti Ala-Fossille sekä myös Ari Laukkaselle, jotka molemmat auttoivat mm. tutkimuksen suunnittelussa ja tutkimuskohteiden valinnassa. Erityiset kiitokset myös toiselle ohjaajalleni yliopistonlehtori Kari Minkkiselle Helsingin yliopistosta, jolta sain tilastanalyyseistä ja kirjallisesta osasta tärkeitä ja hyvät kommentit.

Lähteet

Kirjallisuus

Alatalo, I. 2018. Turvetuotantoalueiden jatkokäyttö metsittämällä. Kandidaatin tutkielma. Helsingin Yliopisto. 29s.

Aro, L. & Hytönen, J. 2018. Suonpohjat metsäksi – mahdollisuuksia ja haasteita. Julkaisussa: Suometsien käytön tulevaisuus – Metsätieteenpäivä 2018. Suomen Metsätieteellinen seura. 26. Saatavana: http://www.metsatieteellinenseura.fi/files/sms/MTP2018/MTP2018_abstraktikirja.pdf [Viitattu 12.6.2019]

Aro, L. 1998. Suonpohjien metsityksen ravinnetaloudellisia näkökohtia. Julkaisussa: Moilanen, M., Pietiläinen, P. & Väärä, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Pyhäsalmeella 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 674. 71-77.

Aro, L., Kaunisto, S. & Saarinen, M. 1997. Suonpohjien metsitys. Hankeraportti 1986-1995. (Summary: Afforestation of peat cutaway areas. Project report in 1986-1995). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 634. 51s.

Aro, L. 1995 Nuorten mäntyjen kehitys suonpohja-alueilla. Ennakkotuloksia. Julkaisussa: Laiho, O. & Luotot, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Tampereella 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 538. 23-25.

Berube, M.-E. & Lavoie, C. 2000. The Natural Revegetation of a Vacuum-mined Peatland: Eight Years of Monitoring. Canadian Field-Naturalist 114(2). 279-286.

Bussieres, J., Boudreau, S. & Rochefort, L. 2008. Establishing trees on cut-over peatlands in eastern Canada. Mires and Peat 3(10). 1-12.

Campbell, D.R., Lavoie, C. & Rochefort, L. 2002. Wind erosion and surface stability in abandoned milled peatlands. Canadian Journal of Soil Science 82(1). 85-95.

Ferm, A. 1993. Birch production and utilization for energy. Biomassa and Bioenergy 4 (6). 391-404.

Ferm, A. & Kaunisto, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoaalueella Kihniön Aitonevalla. Summary:

Above-Ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö. *Folia Forestalia* 558. 32 s.

Flyktman, M. 2012. Energia- ja ympäristöturpeen kysyntä ja tarjonta vuoteen 2020 mennessä. 3-. päivitys 3/2012. 43s. VTT.

Saatavana:

<http://www.bioenergia.fi/GetItem.asp?item=dmsfile;523562;2520¶ms=open;gallery> [Viitattu 16.11.2018]

Groeneveld, E. & Rochefort, L. 2002. Nursing plants in peatland restoration: on their potential use to alleviate frost heaving problems. *Suo* 53 (3-4). 73-85.

Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. 2015. Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen: Pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 51/2015. 32s.

Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. *Metla*. 47s.

Huotari, N. 2011. Recycling of wood- and peat-ash – a successful way to establish full plant cover and dense birch stand on a cut-away peatland. *Acta Universitatis Ouluensis. A Scientiae Rerum Naturalium* 576. 52s.

Huotari, N., Tillman-Sutela, E., Kauppi, A. & Kubin, E. 2008. Ash-fertilization improves germination and early establishment of birch (*Betula pubescens* Ehrh.) seedlings on a cutaway peatland. *Forest Ecology and Management* 255. 2870-2875.

Huotari, N., Tillman-Sutela, E., Kauppi, A. & Kubin, E. 2007. Fertilization ensures rapid formation of ground vegetation on cut-away peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 37. 874-883.

Hynynen, J., Niemisetö, P., Vihreä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein, S. & Velling, P. 2010. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry* 83(1). 103-119.

Hytönen, J. 2016. Wood ash fertilisation increases biomass production and improves nutrient concentrations in birches and willows on two cutaway peats. *Baltic Forestry* 22 1. 98-106.

Hytönen, J., Aro, L., Issakainen, J. & Moilanen, M. 2016. Peat ash and biotite in fertilization of Scots pine on an afforested cutaway peatland. *Suo* 67 (2). 53-66.

Hytönen, J. & Aro, L. 2012. Biomass and nutrition of naturally regenerated and coppiced birch on cutaway peatland during 37 years. *Silva Fennica* 46(3): 377-394.

Hytönen, J. & Aro, L. 2012. Koivikon biomassatuotos ja ravinnetalous suonpohjalla: 37 vuoden tuloksia. *Metsätieteen aikakauskirja* 3. 224-226.

Hytönen, J. & Aro, L. 2005. Suopellot ja suonpohjat puiden kasvualustoina. – Julkaisussa: Ahti, E. ym. (toim.) *Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947.

Hytönen, J. Effects of wood, peat and coal ash fertilization on scots pine foliar nutrient concentrations and growth on afforested former agricultural peat soils. *Silva Fennica* 37(2). 219-234.

Issakainen, J. & Huotari, N. 2007. Suopohjien metsittäminen. Metla.

Jylhä, P., Hytönen, J. & Ahtikoski, A. 2015. Profitability of short-rotation biomass production on downy birch stands on cut-away peatlands in northern Finland. *Biomass and Bioenergy* 75. 272-281.

Kaunisto, S. & Aro, L. 1998. Suopohjat metsätaloudessa. Teoksessa: Vasander, H. (toim.). *Suomen Suot. Suoseura ry, Helsinki*, s. 130-134.

Kaunisto, S. 1987. Lannoituksen ja muokkausten vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas. *Folia Forestalia* 681. 23s.

Kaunisto, S. & Tukeva, J. 1986. Kasvatustiheyden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemailla. *Folia Forestalia* 646. 40s.

Kaunisto, S. 1981. Rauduskoivun (*Betula pendula*) ja hieskoivun (*Betula pubescens*) luontainen uudistuminen turpeennoston jälkeisellä suonpohjan turpeella Kihniön Aitonevalla. *Suo* 32 (3). 53-60.

Kaunisto, S. 1979. Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsityksestä. Summary: Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cut-over areas. *Folia Forestalia* 404. 14s.

Kikamägi, K., Ots, K., Kuznetsova, T. Effect of wood ash on the biomass production and nutrient status of young silver birch (*Betula pendula* Roth) trees on cutaway peatlands in Estonia. *Ecological Engineering* 58. 17-25

Kikamägi, K., Ots, K., Kuznetsova, T. & Pototski, A. 2014. The growth and nutrients status of conifers on ash-treated cutaway peatland. *Trees – Structure and Function* 28(1). 53-64.

Kojola, S. 2009. Kohti hyvää suometsien hoitoa – harvennusten ja kunnostusojitusten vaikutus ojitusalueomistajien puuntuotokseen ja metsänkasvatuksen taloustulokseen. *Dissertationes Forestales* 83. Helsingin yliopisto.

Kärkkäinen, L., Haakana, M., Heikkinen, J., Helin, J., Hirvelä, H., Jauhihainen, L., Laturi, J., Lehtonen, H., Lintunen, J., Niskanen, O., Ollilla, P., Peltonen-Sainio, P., Regina, K., Salminen, O., Tuomainen, T., Uusivuori, J., Wall, A. & Packalen, T. 2019. Maankäyttösektorin toimien mahdollisuudet ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2018. 68s. Saatavana: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-618-8> [Viitattu: 27.2.2020]

Laasasenaho, K., Lensu, A., Rintala, J. & Lauhanen, R. 2017. Landowners willingness to promote bioenergy production on wasteland – future impact on land use of cutaway peatlands. *Land Use Policy* 69. 167-175.

Laki metsälain muuttamisesta 1085/2013. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavana: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20131085#Pidp446634960> [Viitattu: 26.3.2020]

Mikola, P. 1975. Turvetuotannosta vapautuvan maan metsittäminen. *Silva Fennica* 9(2). 101-115

Neimane, S., Celma, S., Butlers, A. & Lazdina, D. 2019. Conversion of an industrial cutaway peatland to a betulacea tree species plantation. *Agronomy Research* 17(3). 741-753.

Paavilainen, E. & Päivänen, J. 1995. Peatland forestry, Ecology and principles. *Ecological Studies*, vol. 111. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg/New York.

Palko, J. & Wepplin, K. 1994. Lime Requirement experiments in acid sulphate soils. *Acta agriculturae scandinavica. Section B – Soil & Plant Science*. 44(3). 149-156.

Perala, D. & Alm, A. 1990. Reproductive Ecology of Birch: A Review. *Forest Ecology and Management* 32. 1-38.

Picken, P. 2007. Geological factors affecting on after-use of Finnish cut-over peatlands with implications of the carbon accumulation. Publications of the Department of Geology D10. 40s.

Päivänen, J. & Paavilainen, E. 1998. Soiden metsätaloudellinen hyväksikäyttö. Teoksessa: Vasander, H. (toim.). Suomen Suot. Suoseura ry, Helsinki, 72-83.

Pääministeri Marinin hallitusohjelma 2019. Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. Valtioneuvosto. Saatavana: <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi> [Viitattu: 4.3.2020]

Renou, F., Scallan, U., Keane, M. & Farrel, E.P. 2007. Early performance of native birch (*Betula* spp.) planted on cutaway peatlands: species, size and stocktype effects. *European Journal of Forest Research* 126. 545-554.

Renou-Wilson, F. & Farrell, E.P. 2007. The Use of Foliar and Soil Information for Optimising the Nutrition of Sitka Spruce and Norway Spruce on Cutaway Peatlands. *Silva Fennica* 41(3). 409-424.

Renou-Wilson, F. & Farrell, E.P. 2008. Afforestation on industrial cutaway peatlands in Ireland: problems and principles. Teoksessa: Farrell, C. & Feehan, J. (toim.). Proceedings of the 13th International Peat Congress. After Wise Use – The Future of Peatlands. 506-509.

Renou-Wilson, F., Pöllänen, M., Byrne, K., Wilson, D. & Farrel, E.P. 2010. The potential of birch afforestation as an after-use option for industrial cutaway peatlands. *Suo* 61 (3-4). 59-76.

Saarinen, M. 1993. Männyn ja koivun viljely turvetuotannosta poistetuilla suonpohjilla. *Laudaturtyö*. Helsingin yliopisto.

Salonen, V. 1992. Plant colonization of harvested peat surfaces. Biological research reports from the University of Jyväskylä (29). 54s.

Salonen, V., Penttinen, A. & Särkkä, A. 1992. Plant colonization of a bare peat surface: population changes and spatial patterns. *Journal of Vegetation Science* 3. 113-118.

Silvan, N. & Hytönen, J. 2016. Impact of ash-fertilization and soil preparation on soil respiration and vegetation colonization on cutaway peatlands. *American Journal of Climate Change* 5. 178-192.

Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 1308/2013. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavana: <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2013/20131308> [Viitattu:26.3.2020]

Vapo Oy. Energiaturpeen kiihtyvä kysynnän lasku johtaa konsernitasolla noin 40 miljoonan euron alaskirjauksiin. Sijoittajatiedote. Saatavana: https://www.vapo.com/medialle/uutiset-ja-tiedotteet/2763/energiaturpeen_kiihtyva_kysynnän_lasku_johtaa_konsernitasolla_noin_40_miljoonan_euron_alaskirjauksiin [Viitattu 4.3.2020]}

Vasander, H. & Roderfeld, H. 1998. Suonpohjien ennallistaminen Teoksessa: Vasander, H. (toim.). Suomen suot. Suoseura ry, Helsinki, s. 135-137.

Wind-Mulder, H., Rochefort, L. & Vitt, D.H. 1996. Water and peat chemistry comparisons fo natural and post-harvested peatlands across Canada and their relevance to peatland restoration. *Ecol. Eng.* 7. 161-181.

Tilastokeskus. 2016. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2014. National Inventory Report under the UNFCCC and Kyoto Protocol.

Saatavana:

https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/fi_un_nir_2014_20160415.pdf
[Viitattu 16.11.2018]

Maatalous ja metsätalousministeriö. 2008. Maa- ja metsätalousministeriö: Pitkän aikavälin skenaariot – maatalous, metsätalous ja maankäyttö. Muistio 20.02.2008. 28s. Saatavana: http://mmm.fi/documents/1410837/1801168/MMM-35768-v1-MMM_pitkan_aikavalin_skenaariot_-_maatalous__metsatalous_ja_maankaytto.pdf/c5e3a565-bd17-4bef-98e4-4732d4c3722c [Viitattu 16.11.2018]

Liitteet

Inventointilomake

[illegible]